



*Российская Академия Наук*

**ТРУДЫ**

**Кольского научного центра РАН**

**4/2018** (9)

**ОКЕАНОЛОГИЯ**

выпуск 5

Апатиты  
2018

---

4/2018 (9)

издается с декабря 2010 г.

*Российская Академия Наук*

ТРУДЫ

Кольского научного центра

УДК 551.46  
ISSN 2307-5252

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2018-9-4

Главный редактор —  
чл.-корр. РАН, проф. С. В. Кривовичев

Заместители главного редактора:  
д. т. н. В. А. Маслобоев

Редакционный совет:  
академик РАН Г. Г. Матишов,  
академик РАН Н. Н. Мельников,  
чл.-корр. РАН В. К. Жиров,  
чл.-корр. РАН А. Н. Николаев,  
д. э. н. Ф. Д. Ларичкин,  
д. т. н. В. А. Путилов,  
д. ф.-м. н. Е. Д. Терещенко,  
к. г.-м. н. А. Н. Виноградов (отв. секретарь)

## ОКЕАНОЛОГИЯ

выпуск 5

Редакционная коллегия серии  
«Океанология»:  
академик РАН Г. Г. Матишов (отв. редактор),  
д. б. н. П. Р. Макаревич (зам. отв. редактора),  
д. г. н. В. В. Денисов,  
д. г. н. С. Л. Дженьюк,  
д. г.-м. н. Г. А. Тарасов,  
д. б. н. М. В. Макаров,  
к. б. н. О. В. Карамушко,  
к. г. н. Г. В. Ильин,  
к. б. н. Д. Г. Ишулов,  
к. г. н. Д. В. Моисеев

Научное издание

Технический редактор: В. Ю. Жиганов

Подписано к печати 27.03.2018. Формат бумаги 70×108 1/16.  
Усл. печ. л. 12.16. Заказ № 15. Тираж 300 экз.  
Издательство ФГБУН ФИЦ КНЦ РАН  
184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, 14  
[www.naukaprint.ru](http://www.naukaprint.ru)

184209, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Ферсмана, 14,  
ФИЦ Кольский научный центр РАН  
Тел.: (81555) 79393, 79380, факс: (81555) 76425  
E-mail: [admin@admksk.apatity.ru](mailto:admin@admksk.apatity.ru), <http://www.kolasc.net.ru>

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Мурманский морской биологический институт Кольского научного  
центра Российской академии наук, 2018  
© ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии  
наук», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Макаревич П. Р., Моисеев Д. В.	Комплексные экосистемные исследования Мурманского морского биологического института на НИС “Дальние Зеленцы” в летний и осенне-зимний периоды 2017 года ..... 5
Ишкулова Т. Г., Пастухов И. А.	Распределение параметров гидрохимического комплекса в северной части Баренцева моря в летний и зимний сезоны .... 14
Макаревич П. Р., Олейник А. А.	Фронтальные зоны Баренцева моря: структурная организация сообществ микропланктона ..... 22
Дружкова Е. И.	Нанофитопланктон ледовой прикромочной зоны Баренцева моря в летний период 2017 года ..... 29
Широколобова Т. И., Венгер М. П., Болтенкова М. А., Водопьянова В. В., Калинка О. П., Максимовская Т. М., Дерябин А. В., Ващенко А. В.	Исследования хлорофилла, бактерий и вирусов в водах северных районов Баренцева моря ..... 44
Павлова Л. В., Нехаев И. О., Пантелеева Н. Н., Ахметчина О. Ю., Гарбуль Е. А., Дикаева Д. Р., Зими́на О. Л., Любина О. С., Фролов А. А., Фролова Е. А.	Мелководный бентос Кольского залива (Баренцево море): биоразнообразие и оценка современного состояния сообществ ... 61
Фролова Е. А., Дикаева Д. Р.	Комплексы полихет прибрежного желоба Баренцева моря по результатам экспедиции 2016 года ..... 93
Митяев М. В., Герасимова М. В., Павлова Л. Г., Дружкова Е. И.	Латеральные потоки взвешенного вещества на разрезе “Кольский меридиан” ..... 109
Митяев М. В., Герасимова М. В., Павлова Л. Г.	Современные донные отложения Мотовского залива (Баренцево море) ..... 118
Ильин Г. В., Усягина И. С., Валуйская Д. А., Максимовская Т. М.	Содержание техногенного изотопа <sup>137</sup> Cs в западной части Баренцева моря по результатам экспедиций 2017 года .... 131

*Russian Academy of Sciences*

4/2018 (9)

**transactions**

**Kola Science Centre**

УДК 551.46

ISSN 2307-5252

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2018-9-4

Editor-in-Chief — S. V. Krivovichev,  
Corr. Member of the RAS, Prof.

Deputy Editors-in-Chief:  
V. A. Masloboev, Dr. Sc. (Engineering)

Editorial Council:

G. G. Matishov, Acad. of the RAS,  
N. N. Melnikov, Acad. of the RAS,  
V. K. Zhironov, Cor. Member of the RAS,  
A. N. Nikolaev, Cor. Member of the RAS,  
F. D. Larichkin, Dr. Sc. (Economics),  
V. P. Petrov, Dr. Sc. (Geology and Mineralogy),  
V. A. Putilov, Dr. Sc. (Engineering),  
E. D. Tereshchenko, Dr. Sc. (Physics and Mathematics),  
A. N. Vinogradov, PhD (Geology and Mineralogy) —  
Executive Secretary

## **OCEANOLOGY**

series 5

Editor-in-Chief of "Oceanology" Series:

G. G. Matishov, Acad. of RAS – Editor-in-Chief,  
P. R. Makarevich, Dr. Sci.  
(Biology) – Deputy Editor-in-Chief,  
V. V. Denisov, Dr. Sci. (Geography),  
S. L. Dzhenyuk, Dr. Sci. (Geography),  
G. A. Tarasov, Dr. Sci. (Geology and Mineralogy),  
M. V. Makarov, Dr. Sci. (Biology),  
O. V. Karamushko, PhD (Biology),  
G. V. Ilyin, PhD (Geography),  
D. G. Ishkulov, PhD (Biology),  
D. V. Moiseev, PhD (Geography)

14, Fersman str., Apatity, Murmansk Region, 184209, Russia  
Tel. (81555) 79380. Fax: (81555) 76425  
E-mail: [admin@admksk.apatity.ru](mailto:admin@admksk.apatity.ru), <http://www.kolasc.net.ru>

© Murmansk Marine Biological Institute of the Kola Science Centre of RAS,  
2018  
© Federal Research Centre "Kola Science Centre of the Russian Academy  
of Sciences", 2018

CONTENTS

	Page
Makarevich P. R., Moiseev D. V.	MMBI integrated ecosystem research on board R/V "Dalnie Zelentsy" in summer and autumn-winter periods of 2017 ..... 5
Ishkulova T. G., Pastukhov I. A.	Distribution of hydrochemical parameters in northern part of Barents Sea in summer and winter period ..... 14
Makarevich P. R., Oleinik A. A.	Frontal zones of the Barents Sea: structural organization of microplankton communities ..... 22
Druzhkova E. I.	Nanophytoplankton of the marginal ice zone of the Barents Sea in summer 2017 ..... 29
Shirokolobova T. I., Venger M. P., Boltenkova M. A., Vodopyanova V. V., Kalinka O. P., Maksimovskaya T. M., Deryabin A. V., Vashchenko A. V.	Research of chlorophyll, bacteria and viruses in waters of the northern regions Barents Sea ..... 44
Pavlova L. V., Nekhaev I. O., Panteleeva N. N., Akhmetchina O. Yu., Garbul E. A., Dikaeva D. R., Zimina O. L., Lyubina O. C., Frolov A. A., Frolova E. A.	Shallow benthos of Kola Bay (Barents Sea): biodiversity and assessment of the current state of communities ..... 61
Frolova E. A., Dikaeva D. R.	Complexes of polychaetes of coastal troughs in the Barents Sea results of expedition 2016 ..... 93
Mityaev M. V., Gerasimova M. V., Pavlova L. G., Dryzhkova E. I.	Lateral flows of the suspension material on the section "Kola Meridian" ..... 109
Mityaev M. V., Gerasimova M. V., Pavlova L. G.	Modern bottom sediments of the Motovskiy Bay (Barents Sea) ..... 118
Ilyin G. V., Usyagina I. S., Valuyskaya D. A., Maksimovskaya T. M.	Technogenic isotope <sup>137</sup> Cs content in the western part of the Barents Sea according to results of expeditions 2017 ..... 131

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2018-9-4-5-14  
УДК 551.46.07

**П. Р. Макаревич, Д. В. Моисеев**

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

## **КОМПЛЕКСНЫЕ ЭКОСИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МУРМАНСКОГО МОРСКОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА НА НИС “ДАЛЬНИЕ ЗЕЛЕНЦЫ” В ЛЕТНИЙ И ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОДЫ 2017 ГОДА**

### **Аннотация**

В статье представлены цели, задачи, маршруты комплексных экспедиций ММБИ на НИС “Дальние Зеленцы” в летний и осенне-зимний периоды 2017 г. Дана краткая характеристика основных направлений исследований. Показан объем собранного научного материала.

### **Ключевые слова:**

ММБИ, НИС “Дальние Зеленцы”, экспедиции, экосистемные исследования.

**P. R. Makarevich, D. V. Moiseev**

Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia

## **MMBI INTEGRATED ECOSYSTEM RESEARCH ON BOARD R/V “DALNIE ZELENTSY” IN SUMMER AND AUTUMN-WINTER PERIODS OF 2017**

### **Abstract**

The aim, tasks, route of MMBI integrated expedition on board R/V “Dalnie Zelentsy” in summer and autumn-winter periods of 2017 are presented. Short description of main research activities is given. The scope of scientific matter gathered in expedition is shown.

### **Keywords:**

MMBI, R/V “Dalnie Zelentsy”, expedition, ecosystem research.

На протяжении своей 83-летней истории Мурманский морской биологический институт ежегодно проводит комплексные экосистемные исследования в западном секторе российской Арктики (Комплексные ..., 2004, 2007, 2009; Матишов и др., 2013; Труды ..., 2014, 2017). Почти половина этого срока связана с экспедициями на научно-исследовательском судне “Дальние Зеленцы”, которому в 2018 г. исполняется 40 лет. За этот период НИС “Дальние Зеленцы” совершило более 200 высокоширотных морских экспедиций длительностью до 90 сут., пройдя более 600 тыс. морских миль (Макаревич, Моисеев, 2018).

В июле 2017 г. после ремонта и освидетельствования “под класс” Российского морского регистра судоходства НИС “Дальние Зеленцы” вышло в море. В рамках программы морских экспедиционных исследований, финансируемой Федеральным агентством научных

организаций (ФАНО) России, в 2017 г. было проведено два рейса. В первом были выполнены летние комплексные исследования в Баренцевом и Гренландском морях, включая район архипелага Шпицберген – 12 июля–1 августа 2017 г. (рис. 1). Второй рейс охватывал исследования в осенне-зимний период и состоял из двух этапов:

1) прибрежная съемка в Кольском и Мотовском заливах – 26–31 октября 2017 г. (рис. 2);

2) комплексные исследования в Баренцевом, Норвежском и Гренландском морях, включая район архипелага Шпицберген – 9 ноября–8 декабря 2017 г. (рис. 3).

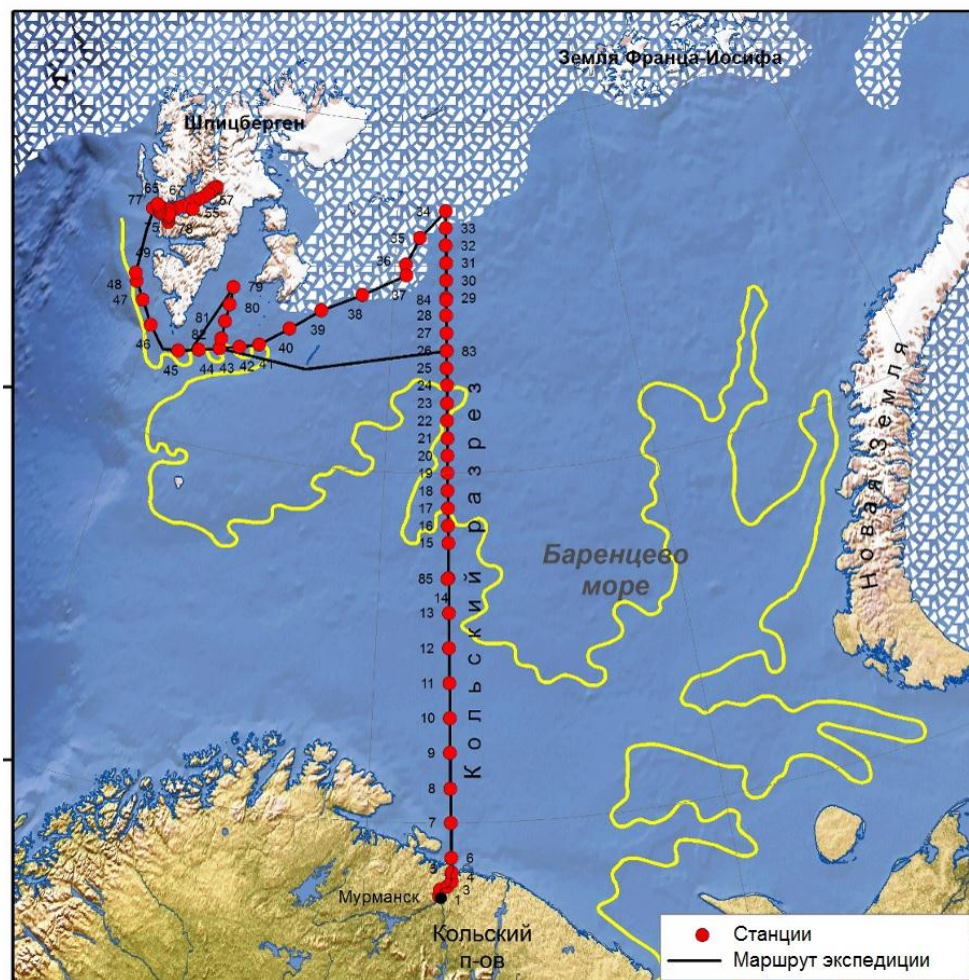


Рис. 1. Карта-схема экспедиции на НИС “Дальние Зеленцы” 12 июля–1 августа 2017 г. Желтой кривой обозначено среднемноголетнее положение полярного фронта; ледяной покров – по состоянию на 16.07.2017 г. по данным Национального ледового центра США (naticice.noaa.gov)

Fig. 1. Map of expedition on board R/V “Dalnie Zelentsy”, 12 July–1 August 2017. Annual position of Polar front is marked by yellow curve. Sea ice cover is based on data of National Ice Centre, USA (naticice.noaa.gov) on 16.07.2017





Рис. 2. Карта-схема экспедиции на НИС “Дальние Зеленцы” 26–31 октября 2017 г.  
 Fig. 2. Map of expedition on board R/V “Dalnie Zelentsy”, 26–31 October 2017

Необходимость разделения второго рейса на два этапа была обусловлена районами работ исследований с различным пограничным режимом. На первом этапе плавание осуществлялось в территориальных водах Российской Федерации, на втором – за пределами территориальных вод. Для переоформления документов судно после первого (прибрежного) этапа возвращалось в Мурманск.



Специфика научных работ в районе Шпицбергена состояла в необходимости заблаговременной подачи запроса на получение разрешения от норвежских властей, необходимого для пересечения в заданные даты территориальных вод архипелага и заходы в порты Баренцбурга и Лонгьербюена.

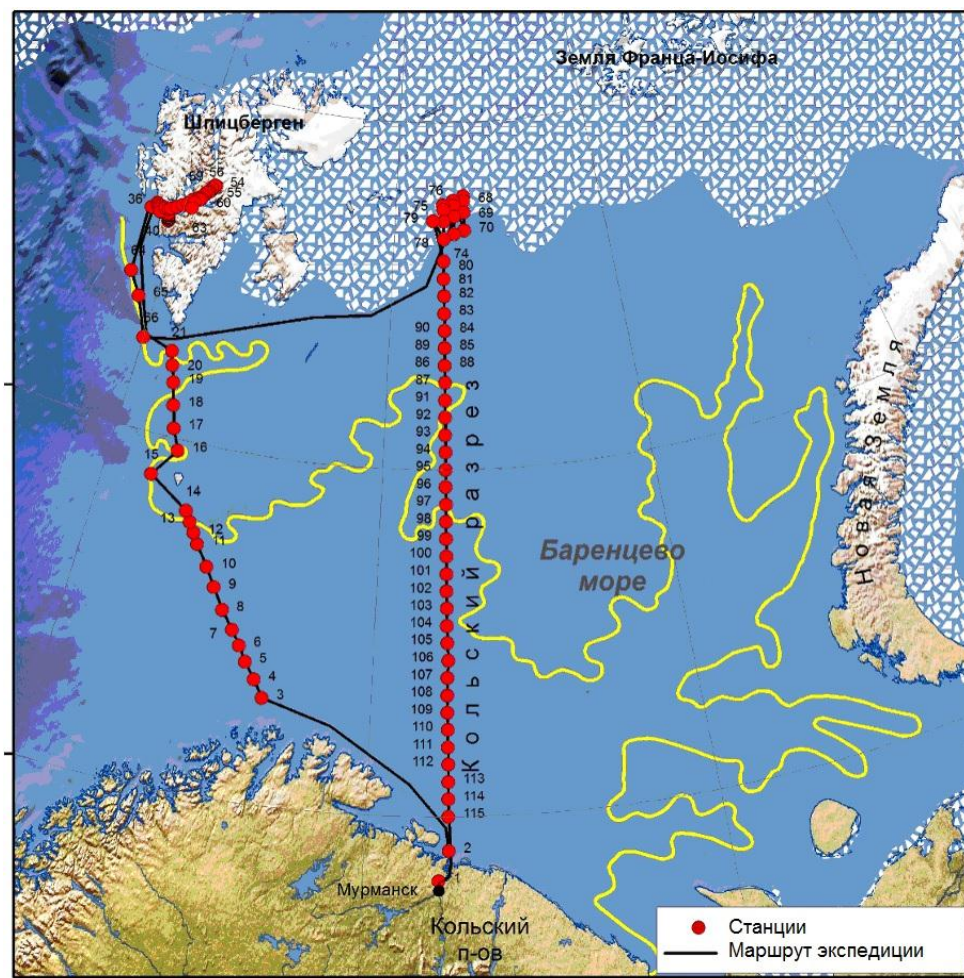


Рис. 3. Карта-схема экспедиции на НИС “Дальние Зеленцы” 9 ноября–8 декабря 2017 г. Желтой кривой обозначено среднемноголетнее положение полярного фронта; ледяной покров – по состоянию на 28.11.2017 г. по данным Национального ледового центра США (naticice.noaa.gov)

Fig.3. Map of expedition on board R/V “Dalnie Zelentsy”, 9 November–8 December 2017. Annual position of Polar front is marked by yellow curve. Sea ice cover is based on data of National Ice Centre, USA (naticice.noaa.gov) on 28.11.2017

В зависимости от местоположения площади и района работ различались цели и задачи каждой экспедиции. В открытом море основное внимание было сосредоточено на изучении природных

процессов в районах фронтальной и прикромочной зон, в частности, на вековом разрезе “Кольский меридиан”. В Кольском и Мотовском заливах основной акцент был сделан на исследованиях антропогенного воздействия на морские прибрежные экосистемы. Задачи исследований в районе Шпицбергена определялись новой темой госзадания ММБИ, российско-норвежским проектом IMOS и сотрудничеством с организациями, входящими в Российский научный центр на Шпицбергене.

Для выполнения поставленных задач в состав экспедиций в 2017 г. входили специалисты всех лабораторий ММБИ, а также привлеченные участники из российских (ЮНЦ РАН, МГТУ, ААНИИ, ЧГУ им. И. Н. Ульянова) и норвежских (UNIS, UiT, Akvaplan-niva) научных организаций. Научной группе и экипажу судна приходилось трудиться в самых разнообразных условиях полярного дня и ночи (рисунки 4–8).



Рис. 4. НИС “Дальние Зеленцы” в Баренцевом море рядом с айсбергом в июле 2017 г. (фото О. Л. Зиминой)

Fig. 4. R/V “Dalnie Zelentsy” in the Barents Sea close to iceberg in July of 2017 (photo by O. L. Zimina)

В ходе экспедиций 2017 г. был собран обширный материал, анализ которого позволил получить новые сведения о современном состоянии, структуре и функционировании абиотических и биотических составляющих экосистемы Баренцева моря. Были получены уникальные данные о функционировании пелагических сообществ в летний и осенне-зимний периоды в зоне ледовой кромки полярного фронта в Баренцевом море. Продолжены исследования пелагических и бентосных экосистем на

стандартном вековом разрезе “Кольский меридиан” и на фоновых полигонах и разрезах в районе архипелага (рисунки 1–3). В июле в Баренцевом и Гренландском морях, в октябре в прибрежье Мурмана, т. е. в светлое время суток, проводились наблюдения за морскими птицами и млекопитающими (рис. 9). Общий объем научных работ, проведенных в 2017 г. на НИС “Дальние Зеленцы” в рамках тем госзаданий представлен в таблице.



Рис. 5. Выполнение СТД-зондирования с борта НИС “Дальние Зеленцы” в июле 2017 г. в Баренцевом море (фото О. Л. Зиминой)

Fig. 5. Conducting of CTD cast on board R/V “Dalnie Zelentsy” in July of 2017 in the Barents Sea (photo by O. L. Zimina)



Рис. 6. Отбор проб зоопланктона в Кольском заливе с помощью сети WP2 с борта НИС “Дальние Зеленцы” (фото О. П. Калинка)

Fig. 6. Zooplankton sampling using WP2 net in the Kola Bay on board R/V “Dalnie Zelentsy” (photo by O. P. Kalinka)





Рис. 7. Отбор проб макрозообентоса тралом Сигсби с борта НИС “Дальние Зеленцы” в июле 2017 г. в Баренцевом море (фото М. А. Павловой)

Fig. 7. Macrozoobenthos sampling using Sigsbee trawl on board R/V “Dalnie Zelentsy” in July of 2017 in the Barents Sea (photo by M. A. Pavlova)



Рис. 8. Участники комплексной экосистемной съемки системы Ис-фьорда на НИС “Дальние Зеленцы” в порту Лонгиербюена 21 ноября 2017 г. (фото Д. В. Моисеева)

Fig. 8. Participants of integrated Isfjorden ecosystem survey on board R/V “Dalnie Zelentsy” in port of Lngyearbyen on 21 November of 2017 (photo by D. V. Moiseev)



Рис. 9. Морской заяц *Erignathus barbatus* на Шпицбергене (фото О. Л. Зиминной)  
 Fig. 9. The bearded seal (*Erignathus barbatus*) in the area of Svalbard (photo by O. L. Zimina)

**Объем работ, выполненных в экспедициях на НИС “Дальние Зеленцы” в 2017 г.  
 Scope of work conducted in expeditions on board R/V “Dalnie Zelentsy” in 2017**

Вид работ	Объем
СТД-зондирование и измерение прозрачности воды	223 зондирования
Отбор проб для гидрохимических исследований	317
Отбор проб для изучения:	
бактерио- и вириопланктона	369
хлорофилла <i>a</i>	374
фитопланктона	489
зоопланктона	85
макрозообентоса	217
радиоэкологической обстановки	162 – вода на $^{137}\text{Cs}$ и $^{90}\text{Sr}$ из поверхностного и глубинных горизонтов; 40 – верхний (0–2 см) слой; 15 колонок – донный осадок; 2 – биота на определения спектра искусственных радионуклидов
Наблюдения за морскими птицами, млекопитающими и белым медведем	На учетных трансектах протяженностью более 2000 км обнаружено 23 вида морских птиц и 11 видов морских млекопитающих

По результатам исследований 2017 г. ученые ММБИ подготовили статьи, вошедшие в настоящее издание. Исследования охватывают

районы фронтальной и прикромочной зон архипелага Шпицберген и побережья Мурмана (рисунки 1–3).

Администрация ММБИ и участники экспедиций выражают благодарность капитанам С. И. Остапенко, А. А. Миннулину и экипажу НИС “Дальние Зеленцы” за профессиональное и безопасное обеспечение морских научных исследований.

Экспедиционные исследования проведены при финансовой поддержке ФАНО России в рамках следующих тем в государственном задании ММБИ:

0228-2018-0001 “Особенности организации арктических планктонных сообществ в условиях современных климатических изменений (Баренцево, Карское моря и море Лаптевых)”;

0228-2018-0002 “Биоразнообразие и экология зообентоса Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных акваторий”;

0228-2018-0007 “Орнитофауна северных морей: особенности внегнездовой экологии”;

0228-2018-0015 “Оценка уязвимости и экологический мониторинг арктических экосистем при освоении шельфа”;

0228-2018-0018 “Воздействие климатических факторов, химического и радиационного загрязнения на морские экосистемы Арктики в условиях комплексного природопользования”;

0228-2018-0019 “Комплексные экосистемные исследования арктических морей России как основа современных технологий изучения, освоения, сохранения и развития региона” (программа Президиума РАН 55 “Арктика – научные основы новых технологий освоения, сохранения и развития”);

0228-2018-0020 “Экосистемные процессы в пелагиали прикромочной зоны Баренцева моря” (программа Президиума РАН 49 “Взаимодействие физических, химических и биологических процессов в Мировом океане”).

Анализ данных о термохалинных, гидрохимических условиях и структуре планктонных сообществ выполнен за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-14-01268).

Авторы выражают признательность Г. Н. Духно и А. А. Дерябину за помощь в подготовке карт-схем экспедиций.

## Литература

*Комплексные* исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна (проект подпрограммы “Исследование природы Мирового океана” федеральной целевой программы “Мировой океан”) / Отв. ред. Г. Г. Матишов. Вып. 1. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2004. 557 с.



*Комплексные* исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. (проект подпрограммы “Исследование природы Мирового океана” федеральной целевой программы “Мировой океан”) / Отв. ред. Г. Г. Матишов. Вып. 2. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2007. 633 с.

*Комплексные* экспедиции в Баренцево и Гренландское моря на НИС “Дальние Зеленцы” / Д. В. Моисеев, Е. А. Гарбуль, О. Ю. Кудрявцева и др. // Экспедиционная деятельность в рамках Международного полярного года 2007. СПб., 2009. С. 25–30.

*Макаревич П. Р., Моисеев Д. В.* Комплексные экосистемные исследования ММБИ на НИС “Дальние Зеленцы” в весенний период 2016 года // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2017. Сер. Океанология. Вып. 4. Т. 2(8). С. 5–9.

*Макаревич П. Р., Моисеев Д. В.* 40 лет научно-исследовательскому судну “Дальние Зеленцы” // Исследования арктических экосистем: Матер. XXXVI конф. молодых ученых ММБИ КНЦ РАН, посвященной 40-летию научно-исследовательского судна “Дальние Зеленцы”. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2018. С. 5–12

*Матишов Г. Г., Макаревич П. Р., Моисеев Д. В.* Кольский разрез в полярную ночь // Российские полярные исследования. 2013. № 3(13). С. 23–25.

*Труды* Кольского научного центра РАН. 2014. Сер. Океанология. Вып. 2. Т. 4(23) / Отв. ред. Г. Г. Матишов. 301 с.

*Труды* Кольского научного центра РАН. 2017. Сер. Океанология. Вып. 4. Т. 2(8) / Отв. ред. Г. Г. Матишов. 113 с.

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2018-9-4-14-21

УДК 551.464.32

**Т. Г. Ишкулова, И. А. Пастухов**

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ЛЕТНИЙ И ЗИМНИЙ СЕЗОНЫ**

### **Аннотация**

По результатам двух рейсов в летний и осенне-зимний периоды описывается гидрохимическое состояние водных масс северной части Баренцева моря. Стандартными гидрохимическими методами выполнено определение растворенного в воде кислорода, водородного показателя и биогенных элементов (фосфора фосфатного, кремния, азота нитритного и нитратного). Приведены статистические характеристики гидрохимических параметров района исследований. Описан характер распределения биогенных элементов в разные сезоны. Проведен сравнительный анализ их распределения.

### **Ключевые слова:**

Арктика, Баренцево море, гидрохимия, кислород, биогенные вещества.

**T. G. Ishkulova, I. A. Pastukhov**

Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia

## DISTRIBUTION OF HYDROCHEMICAL PARAMETERS IN NORTHERN PART OF BARENTS SEA IN SUMMER AND WINTER PERIOD

### Abstract

In this paper, according to the results of two expeditions in the summer and autumn-winter periods describe the hydrochemical state of water masses in the northern part of the Barents Sea. Standard Hydrochemical methods have been used to determine the oxygen dissolved in water, the hydrogen index and biogenic elements (phosphates, silicon, nitrites and nitrates). The characteristics of the hydrochemical parameters of the study area is given. The nature of distribution of nutrient elements in different seasons is described. A comparison is made of their distribution.

### Keywords:

Arctic, Barents Sea, hydrochemistry, oxygen, nutrients.

**Введение.** Северная часть Баренцева моря характеризуется низкими температурами водных масс и воздуха, плавучими льдами и айсбергами. Данные условия делают затруднительным исследование в этом районе, который, однако, представляет большой научный интерес для изучения процессов климатических изменений и водообмена в зонах расположения фронтальных зон. Биогенные элементы, находясь в непосредственной зависимости от гидрологических условий, в свою очередь, оказывают значительное влияние как на отдельные компоненты водных экосистем, так и на экосистемы в целом.

Цель данной работы – изучение и сравнительная характеристика содержания, распределения и сезонной динамики параметров гидрохимического комплекса в северной части Баренцева моря.

**Материал и методы.** В работе использованы данные, полученные в ходе двух экспедиций на НИС “Дальние Зеленцы” – 03.11–13.12.2015 г. и 13.07–01.08.2017 г. На 13 комплексных станциях (рис. 1) отобрано 56 проб морской воды. Отбор проб проводился на стандартных горизонтах (0, 10, 25, 50, 100 м и дно). Изучались следующие параметры гидрохимического комплекса: растворенный в воде кислород, рН и биогенные элементы – фосфор фосфатный, кремний, азот нитритный и нитратный. Анализы выполнялись стандартными методами (Руководство ..., 1993). Результаты статистической обработки данных приведены в таблице.

**Результаты и обсуждение.** По литературным данным (Гидрометеорология ..., 1992; Химические ..., 1997; Климат ..., 2011; Воды ..., 2016), на рассматриваемой нами акватории располагается устойчивый участок термохалинной фронтальной зоны Баренцева моря, возникающий из-за взаимодействия водных масс различного генезиса. С севера с холодным течением Персея поступают арктические воды, с запада – теплые и соленые атлантические водные массы. Также немаловажную роль играют местные баренцевоморские воды. Поэтому для фронтальных зон характерна сложная гидрофизическая обстановка и изменение параметров гидрохимического комплекса в широких пределах.

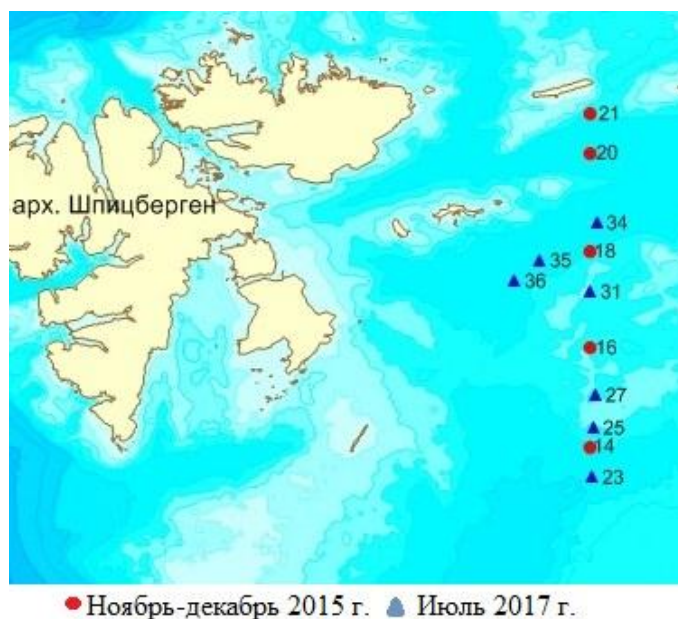


Рис. 1. Схема станций в северной части Баренцева моря  
 Fig. 1. Schema of stations in the northern part of the Barents Sea

**Характеристика гидрохимических параметров водных масс северной части Баренцева моря**  
**Characteristic of the hydrochemical parameters of water bodies in the northern part of the Barents Sea**

Гидрохимические параметры	2015 г.	2017 г.
O <sub>2</sub> , мл/л	<u>6.73–8.82</u> 7.38±0.12	<u>5.65–9.75</u> 7.40±3.33
O <sub>2</sub> , %	<u>86–105</u> 87±8	<u>73–117</u> 97±7
pH, ед.	<u>7.74–8.08</u> 7.50±0.61	<u>7.95–8.60</u> 8.42±0.82
N – NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мкг-ат/л	<u>0.04–0.53</u> 0.16±0.10	<u>0.03–0.40</u> 0.15±0.04
N – NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мкг-ат/л	<u>2.64–13.03</u> 7.55±0.88	<u>0.25–8.93</u> 5.42±1.07
Si, мкг-ат/л	<u>1.05–4.89</u> 2.38±0.18	<u>0.63–11.13</u> 5.44±1.77
P – PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мкг-ат/л	<u>0.82–1.56</u> 1.07±0.12	<u>0.11–1.30</u> 1.01±0.14

ПРИМЕЧАНИЕ. Числитель – минимум–максимум, знаменатель – среднее по району средневзвешенного значения±стандартное отклонение.

**Зима 2015 года.** С третьей декады ноября в Баренцевом море наступает гидрологическая зима. В водных массах начинается характерное для данного сезона выхолаживание и активное конвективное перемешивание. Смещение повышенных концентраций биогенных веществ в более глубокие слои, в места наибольшего скопления органики и скачка плотности, характерно для осенне-зимнего периода. Особенно отчетливо эти явления прослеживаются во фронтальных зонах, расположенных над склонами желобов и впадин, а также в местах залегания глубинных атлантических вод (Норина, 1965; Гидрометеорология ..., 1992; Химические ..., 1997; Климат ..., 2011; Воды ..., 2016).

По данным, полученным в ходе экспедиции, арктические воды распространялись от поверхности до глубины 105 м. Ниже находились глубинные атлантические воды. Нами выявлены некоторые общие тенденции в распределении гидрохимических параметров в районе исследований в 2015 г. На всей акватории наблюдается увеличение количества кремния и нитратов от поверхности ко дну, а накопление кислорода происходит в противоположном направлении. Также отмечено уменьшение содержания водородного показателя и нитритов с юга на север (рис. 2). Данное распределение характерно для осенне-зимнего периода в Баренцевом море (Гидрометеорология ..., 1992; Химические ..., 1997).

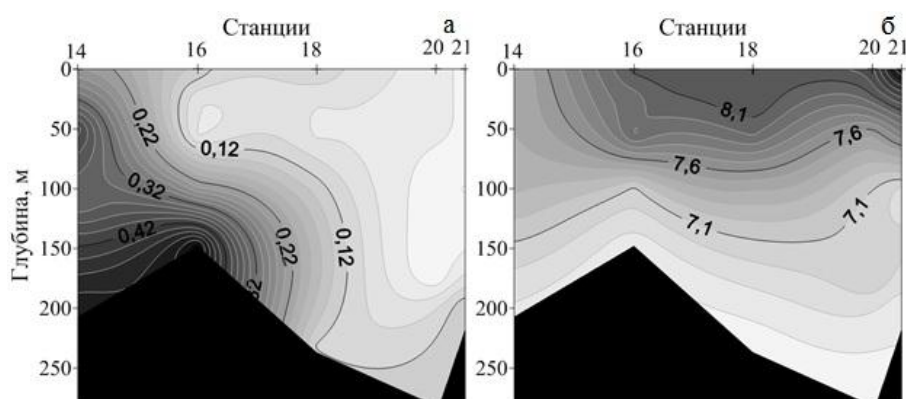


Рис. 2. Распределение азота нитритного (а, мкг-ат/л) и кислорода (б, мл/л) в северной части Баренцева моря в ноябре–декабре 2015 г.

Fig. 2. Distribution of nitrite nitrogen (a,  $\mu\text{g-at/l}$ ) and oxygen (b, ml/l) in the northern part of the Barents Sea in November–December 2015

Растворенный кислород – один из показательных гидрохимических параметров водных масс, который может служить индикатором распространения атлантических вод. В зимний период эти воды характеризуются наиболее низкими концентрациями кислорода (Норина, 1965; Адров, 1982; Химические ..., 1997). В придонном горизонте глубоководных станций 18–20 содержание кислорода снижается до

минимальной величины – 6.8 мл/л при 86 %-й насыщенности (рис. 2). Так же эти воды отличались высоким рН и довольно высоким содержанием биогенных элементов. Например, средняя концентрация кремния у дна на этих станциях составила примерно 3.70 мкг-ат/л, а средняя величина водородного показателя – 7.90 ед.

Между станциями 14 и 16 наблюдалась граница распространения арктических водных масс, отличающихся низким содержанием нитритов (до 0.04 мкг-ат/л) и кремния (до 1.05 мкг-ат/л), отрицательной температурой воды и, как следствие, высоким содержанием кислорода (в среднем 12.0 мл/л в водном слое 0–75 м). В придонном горизонте на этих станциях отмечены максимальные концентрации всех биогенных элементов. Подводная возвышенность и наличие границы смешения водных масс, как упоминалось выше, способствует скоплению в данном месте органического вещества, разложение которого повышает содержание биогенов в этом районе.

На самых северных, из исследованных нами, станциях 20 и 21 в поверхностном горизонте отмечено несколько предельных величин как гидрологических, так и гидрохимических. Так, на ст. 21 в продукционном слое зафиксированы минимальные концентрации нитритного и нитратного азота – 0.04 и 2.63 мкг-ат/л соответственно. Здесь же отмечена максимальная концентрация кислорода (8.82 мл/л), что является следствием довольно низкой температуры воды (–1.2 °С). Данные величины по нитратному азоту и кислороду несколько выше средне многолетних осенне-зимних значений для севера Баренцева моря (Жизнь ..., 1985; Гидрометеорология ..., 1992).

*Лето 2017 г.* В летнее время, по литературным данным, вся северная часть Баренцева моря в поверхности заполнена арктическими водами (Жизнь ..., 1985; Гидрометеорология ..., 1992). На глубинах располагаются баренцевоморские воды. Устойчивость подобной структуры затрудняет ветровое перемешивание, которое способствует массовому развитию фитопланктона и, как следствие, истощению биогенных элементов в фотическом слое. Поэтому в распределении большинства параметров гидрохимического комплекса для летнего периода в Баренцевом море наблюдается характерное резкое увеличение их содержания от поверхности ко дну.

По нашим наблюдениям, содержание кислорода увеличивалось с юга на север. Низкая температура воды и летняя вегетационная деятельность фитопланктона стали причиной хорошей насыщенности кислородом водных масс. Граница этой насыщенности – 50 м (рис. 3). Наиболее высокие концентрации растворенного кислорода, как и зимой 2015 г., наблюдались на верхних горизонтах самых северных, из исследованных нами станций, в холодных арктических водах. Максимальное содержание кислорода зафиксировано на ст. 36 на горизонте 25 м – 9.75 мл/л. Содержание азота нитритного, в отличие от кислорода, увеличивается с севера на юг:

средневзвешенная концентрация на ст. 23 – 0.21 мкг-ат/л, а на ст. 34 – 0.12 мкг-ат/л. По вертикали его распределение характеризуется пятнистостью, как и у кислорода.

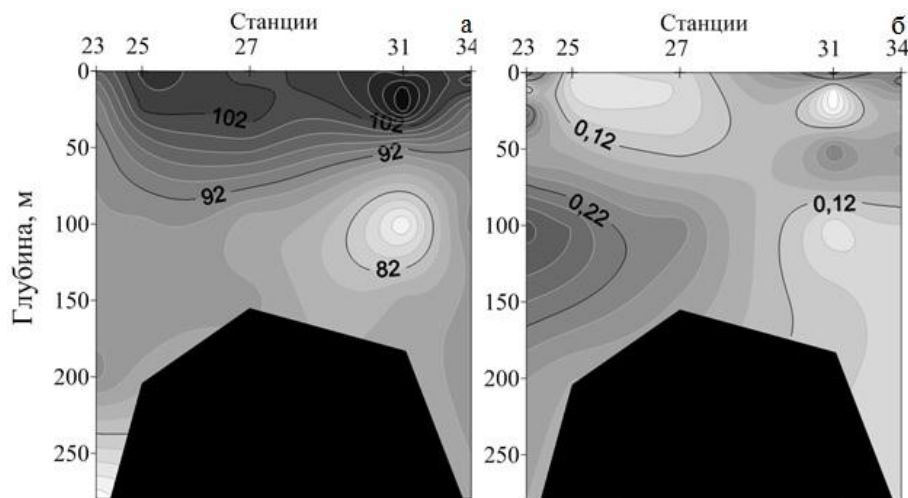


Рис. 3. Распределение кислорода (а, %) и азота нитритного (б, мкг-ат/л) в северной части Баренцева моря в июле 2017 г.

Fig. 3. Distribution of oxygen (a, %) and nitrite nitrogen (b, µg-at/l) in the northern part of the Barents Sea in July 2017

Для нитратов, фосфатов и кремния содержание в водной толще характеризуется слоистостью. Верхний 50-метровый слой наиболее обеднен этими биогенами. Минимальное количество кремния наблюдалось на глубине 25 м на ст. 31 – 0.63 мкг-ат/л. Примечательно, что здесь также зафиксированы минимальная концентрация азота нитритного (0.02 мкг-ат/л) и довольно высокое содержание кислорода (9.13 мл/л), что является следствием активности фитопланктона в данной локальной области. Ко дну количество нитратов, фосфатов и кремния значительно увеличивается. Так в придонном слое зафиксированы предельные концентрации фосфора фосфатного (1.30 мкг-ат/л – ст. 31) и кремния (11.13 мкг-ат/л – ст. 34), превышающие установленные ранее (Гидрометеорология ..., 1992; Химические ..., 1997).

В литературных источниках присутствуют данные вертикальных профилей различных биогенов. Наибольшее количество информации существует по кислороду. Однако в большинстве случаев приводится кривая распределения кислорода для типовой водной массы. Мы же приводим кривые распределения кислорода на исследованной акватории как для района расположения фронтальной зоны (рис. 4).

Распределение кислорода на ст. 14 соответствует таковой трансформированных атлантических вод в зимний период



(Гидрометеорология ..., 1992; Химические ..., 1997). На станциях 16 и 18 тип кривых несколько различается только до глубины 50 м в зависимости от температуры воды. На станциях 20 и 21 распределение кислорода следующее: высокие концентрации (чем севернее расположены станции, тем выше содержание кислорода) в поверхности, которые довольно резко уменьшаются до более теплого слоя. Количество кислорода, как мы уже указывали, увеличивается с понижением температуры, поэтому данный перепад – характерная черта кривой распределения кислорода в летний сезон в этом районе.

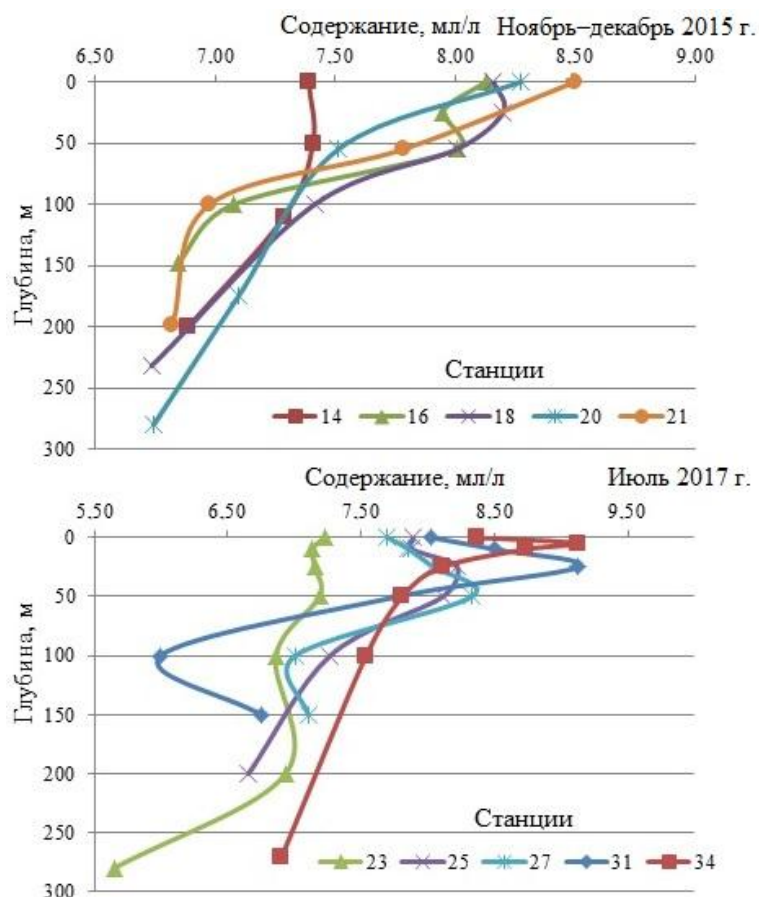


Рис. 4. Вертикальные профили содержания кислорода в северной части Баренцева моря

Fig. 4. Vertical profiles of oxygen content in the northern part of the Barents Sea

Летнее распределение кислорода на исследованной акватории характеризуется всего двумя типами кривых. Первый тип – практически одинаковое количество кислорода в водном слое – ст. 23. Второй тип распределения наблюдается на станциях 25–34. Кривая этого типа имеет максимум, который в зависимости от расположения станции смещается к

поверхностному горизонту – чем севернее располагается станция, тем ближе к поверхности. Этот максимум в летний период соответствует глубине залегания слоя максимума фотосинтеза в сочетании с низкой температурой.

**Выводы.** Смещение водных масс различного генезиса сложным образом отражается на параметрах гидрохимического комплекса. Это выражается в существенных отличиях их величин для близких станций, но расположенных по разные стороны фронта, и для разных горизонтов на одной станции. В зимний сезон преимущественно физико-гидрологические явления оказывают влияние на распределение гидрохимических параметров, поэтому по их содержанию хорошо определяются границы распространения водных масс, в отличие от летнего сезона, когда на концентрацию биогенов в первую очередь оказывают влияние биотические факторы.

Характер распределения параметров гидрохимического комплекса соответствует сезонному. Однако диапазон флуктуаций содержания биогенных элементов несколько шире, чем установлено ранее. Причиной этого может быть, например, череда теплых лет в Баренцевом море, из-за которых возможны небольшие сезонные сдвиги, приводящие к подобным изменениям.

Работа выполнена по теме 9-17-01 (51) в рамках государственного задания № 0228-2016-0001.

## Литература

*Адров Н. М.* Формирование структуры вод Баренцева моря в осенне-зимний период // Комплексные исследования природы северных морей. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1982. С. 20–22.

*Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость / В. К. Ожигин, В. А. Ившин, А. Г. Трофимов и др.* Мурманск: Изд. ПИПРО, 2016. 260 с.

*Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности.* СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 181 с.

*Жизнь и условия ее существования в пелагиали Баренцева моря.* Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1985. 218 с.

*Климат морей Западной Арктики в начале XXI века / Г. Г. Матишов, С. Л. Дженюк, А. П. Жичкин, Д. В. Моисеев // Изв. РАН. Сер. географ. 2011. № 3. С. 17–32.*

*Норина А. М.* Гидрохимическая характеристика северной части Баренцева моря // Тр. ГОИН. 1965. Вып. 83. С. 243–272.

*Руководство по химическому анализу морских вод. Руководящий документ.* Л.: Гидрометеоздат, 1993, 263 с.

*Химические процессы в экосистемах северных морей (гидрохимия, геохимия, нефтяное загрязнение) / Г. Г. Матишов, Л. Г. Павлова, Г. В. Ильин и др.* Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. 404 с.

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2018-9-4-21-29

УДК 574.583 (268.45)

**П. Р. Макаревич, А. А. Олейник**

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

## **ФРОНТАЛЬНЫЕ ЗОНЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ: СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СООБЩЕСТВ МИКРОПЛАНКТОНА**

### **Аннотация**

Представлены результаты исследований микропланктона в области фронтальных зон Баренцева моря в предзимний период 2017 г. Показано, что, несмотря на значительные градиенты гидрологических параметров во фронтальных зонах, таксономическая структура микропланктона по разные стороны фронта характеризуется высокой степенью сходства (60–70 %). Это сходство обеспечивается таксономическим ядром микропланктона – группой из 17 видов, встречающихся на всей акватории и распространение которых не лимитируется фронтальными разделами. Полярный фронт ограничивает распространение 7 видов микропланктона; фронт, сформированный вдоль границ дрейфующего молодого льда, ограничивает распространение 1 вида. Отмечено, что широкой и сравнительно малоградиентной акваторией между этими двумя фронтами ограничивается распространение 11 видов.

### **Ключевые слова:**

микропланктон, таксономическая структура, фронтальная зона, Баренцево море.

**P. R. Makarevich, A. A. Oleinik**

Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia

## **FRONTAL ZONES OF THE BARENTS SEA: STRUCTURAL ORGANIZATION OF MICROPLANKTON COMMUNITIES**

### **Abstract**

Results of microplankton investigations in the frontal zones of the Barents Sea in November–December 2017 are presented. Despite the significant gradients of hydrological parameters, taxonomic structure of microplankton on different sides of the front is characterized by a high degree of similarity (60–70 %), which is provided by a group of 17 species, the spread of which is not limited to frontal zones. The polar front limits the spread of 7 species of microplankton; along the boundaries of the drifting young ice formed front, which limits the spread of 1 species. In a relatively homogeneous area, located between the two fronts, meanwhile, limited the spread of 11 species.

### **Keywords:**

microplankton, taxonomic structure, frontal zone, Barents Sea.

**Введение.** Определенное сочетание абиотических факторов в разных водных массах обуславливает различия в развитии основных структурных элементов морской биоты, в том числе – популяций планктонных организмов.

Области контакта разных водных масс – фронтальные зоны – не только представляют собой естественные структурные границы между соответствующими типами пелагических сообществ. В этих районах за счет особенностей распределения отдельных массовых видов формируются специфические сообщества гидробионтов, часто возникают области повышенной биологической продуктивности (Беклемишев, Бурков, 1958; Беклемишев, 1969).

В Баренцевом море, благодаря его географическому положению, орографическим и климатическим особенностям, существует сложная система циркуляции и взаимодействия четырех водных масс – арктической, баренцевоморской, атлантической и прибрежной, и соответствующее число фронтальных зон (Чвилев 1990, 1991; Бойцов, 2006). Очевидно, благодаря именно такому многообразию вариантов гидрологической структуры Баренцево море является акваторией с высокой биологической продуктивностью промысловых гидробионтов (Книпович, 1938; Зенкевич, 1963; Ожигин, Терещенко, 1989). Процессы развития непромысловых организмов в области взаимодействия разных водных масс Баренцева моря и влияния фронтальных зон на структуру планктона изучены гораздо менее полно, поскольку стали предметом научного интереса сравнительно недавно (Макаревич, Дружкова, 2010; Дворецкий, Дворецкий, 2017; Макаревич, Олейник, 2017).

**Материал и методы.** Материалом послужили результаты обработки планктонных сборов, выполненных в период окончания календарной осени 2017 г., в условиях полярной ночи. Положение станций отбора определялось после предварительного зондирования пелагиали, так, чтобы исследуемый район охватывал область с очевидным “обострением” горизонтальных градиентов термохалинных параметров.

Акватория вдоль границ дрейфующего льда представляла собой область минимальных значений температуры и солености в верхнем слое пелагиали. В прикромочной полосе шириной 4 мили отмечены наибольшие горизонтальные градиенты гидрологических параметров. Градиент солености  $\Delta S$  достигал 0.04 ‰/миля, градиент температуры  $\Delta T$  – более 0.1 °C/миля, что в несколько раз превысило аналогичные значения на прилегающих, удаленных от кромки акваториях, и по абсолютным величинам соответствует критериям фронтальной зоны, приводимым для Баренцева моря (Чвилев, 1990). Во фронтальной области кромка–чистая вода обследовано три участка (рисунок), на каждом из них одна планктонная станция выполнялась непосредственно на кромке льда, вторая – южнее, на удалении 4 мили (станции 67–68, 71–72, 75–76).

На разрезе “Кольский меридиан” “обострение” горизонтальных градиентов гидрологических параметров отмечено в области пересечения полярного фронта. Максимальные градиенты солености и температуры зафиксированы между станциями 88 и 89 – соответственно, 0.02 ‰/миля

и 0.2 °С/миля в слое 100–0 м (рисунок), что на порядок выше аналогичных значений на прилегающих акваториях и по абсолютным величинам также соответствует критериям фронтальной зоны. В этом районе выполнены три планктонные станции, на южной стороне фронта – ст. 88 и на северной – станции 89 и 90.



Карта-схема района исследований  
Schematic map of the study area

Планктонные пробы отбирали батометром и сетью с фильтрующим конусом из газа с ячейей 29 мкм и входным диаметром 8 см, фиксировали нейтральным формалином до конечной концентрации около 1 %.

Дальнейшая обработка проведена общепринятыми гидробиологическими методами (Руководство ..., 1983; Методические ..., 1989): концентрирование путем обратной фильтрации через ядерные фильтры с порами диаметром 0.95 мкм, подсчет клеток и таксономическая идентификация организмов под световым микроскопом, в проходящем свете, в счетной камере Нажотта. Всего обработано 53 пробы микропланктона.

Мерой сходства альгоценозов служил коэффициент Серенсена-Чекановского: отношение числа общих видов для пары сравниваемых станций/участков к среднему арифметическому числу видов.

**Результаты и обсуждение.** В районах дрейфующего сезонного льда в планктоне отмечены протисты 27 таксонов видового ранга (табл. 1): диатомеи (Bacillariophyta, 7 видов), динофлагелляты (Dinophyta, 12), инфузории (Infusoria = Ciliophora, 6), радиоларии (Radiolaria = Radiozoa, 2).

Таблица 1

## Таксономический список микропланктона исследованных районов

Table 1

## Phytoplankton taxonomic list of the studied areas

Таксон	Прикромочная область		Фронтальная область	
	кромка	чистая вода	север	юг
Bacillariophyta				
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	–	–	–	Ед.
<i>Aulacoseira distans</i> var. <i>alpigena</i> Simonsen	–	–	–	Ед.
<i>Chaetoceros atlanticus</i> Cleve	–	+	+	–
<b><i>Chaetoceros borealis</i></b> Bailey	+	+	+	+
<b><i>Chaetoceros concavicornis</i></b> Mangin	+	+	+	+
<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve	+	+	+	–
<i>Chaetoceros furcillatus</i> Bailey, споры	–	–	+	+
<i>Corethron criophilum</i> Castracane	–	–	–	+
<i>Nitzschia</i> aff. <i>longissima</i> Ralfs	+	+	–	–
<i>Paralia sulcata</i> Cleve	–	–	–	Ед.
<i>Pleurosigma</i> sp. 1	–	Ед.	–	–
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> complex	–	Ед.	–	Ед.
<i>Thalassiosira gravida/antarctica</i> , споры	–	–	–	Ед.
Chrysophyta				
<i>Dictyocha speculum</i> Ehrenberg	–	–	+	+
Haptophyta				
<i>Coccolithus pelagicus</i> Schiller	–	–	–	+
Dinophyta				
<b><i>Ceratium arcticum</i></b> Cleve	+	+	+	+
<b><i>Ceratium fusus</i></b> Dujardin	+	+	+	+
<i>Ceratium longipes</i> Gran	+	+	+	–
<i>Dinophysis acuminata</i> Claparède & Lachmann	–	–	–	Ед.
<b><i>Dinophysis norvegica</i></b> Claparède & Lachmann	+	–	+	+
<b><i>Dinophysis rotundata</i></b> Claparède & Lachmann	+	+	+	+
<i>Micracanthodinium claytonii</i> Dodge	Ед.	–	–	–
<i>Micracanthodinium setiferum</i> Deflandre	–	–	+	+
<b><i>Pronoctiluca pelagica</i></b> Fabre-Domerque	Ед.	–	+	+
<i>Prorocentrum balticum</i> Loeblich III	–	–	+	+
<i>Protooperidinium</i> aff. <i>curtipes</i> Balech	–	–	+	+
<b><i>Protooperidinium brevipes</i></b> Balech	+	+	+	+
<b><i>Protooperidinium depressum</i></b> Balech	+	+	+	+
<i>Protooperidinium ovatum</i> Pouchet	–	–	+	+
<b><i>Protooperidinium pallidum</i></b> Balech	+	+	+	+
<b><i>Protooperidinium pellucidum</i></b> Bergh	+	+	+	+
<i>Protooperidinium</i> sp. <i>crassipes</i> ?	+	+	–	Ед.
Формы incertae sedis				
<i>Fusopsis</i> sp. Meunier	–	–	Ед.	–
<i>Polyasterias problematica</i> (Cleve) Meunier	–	–	Ед.	–
Infusoria = Ciliophora				



<i>Acanthostomella norvegica</i> (Daday)	–	Ед.	+	+
<i>Codonellopsis pusilla</i> (Cleve)	–	–	–	Ед.
<i>Parafavella denticulata</i> (Ehrenberg)	Ед.	–	+	+
<i>Ptychocylis obtusa</i> Brandt	+	+	+	+
<i>Salpingella</i> aff. <i>acuminata</i> (Claparède & Lachmann)	+	+	+	+
<i>Salpingella</i> aff. <i>minutissima</i> Kofoid & Campbell	–	–	–	Ед.
<i>Strombidium strobilus</i> (Lohmann)	+	+	+	–
<i>Tintinnopsis patula</i> (Meunier)	–	–	+	+
<i>Tontonia gracillima</i> Fauré-Fremiet	+	+	–	–
Prasinophyta				
<i>Halosphaera viridis</i> Schmitz	–	–	+	+
Radiolaria = Radiozoa				
<i>Amphimelissa setosa</i> (Cleve)	Ед.	–	+	+
<i>Lithomelissa setosa</i> Jørgensen	–	–	–	+
<i>Plagiacantha arachnoides</i> (Claparède)	+	+	+	+
<i>Protocystis tridens</i> (Haeckel)	–	–	+	+

ПРИМЕЧАНИЕ. Полу жирным шрифтом выделены виды, включенные в структурное ядро таксоценоза.

Уровень таксономического сходства микропланктона при сравнении отдельных станций, оцениваемый коэффициентом Серенсена-Чекановского, составил 0.6–0.7.

При сравнительном анализе структуры таксоценоза в прикромочной области значительных различий не выявлено, только один вид – *Chaetoceros atlanticus* – был отмечен на всех станциях открытой воды, но отсутствовал на кромке.

Степень видового сходства между микропланктоном акватории на кромке (объединенный таксоценоз станций 67, 71, 75) и на чистой воде (станции 68, 72, 76) очень высока (0.85), что свидетельствует о единстве таксономической структуры микропланктона во всей прикромочной области (табл. 2).

В области полярного фронта отмечены протисты 44 таксонов видового ранга (табл. 1): диатомеи (Bacillariophyta, 11 видов), динофлагелляты (Dinophyta, 16), золотистые (Chrysophyta, 1), кокколитофорида (Haptophyta, 1), прازیнофитовые (Prasinophyta, 1), инфузории (Infusoria = Ciliophora, 8), радиолярии (Radiolaria = Radiozoa, 4), формы неясного таксономического положения (2).

Результаты сравнения таксоценозов по обе стороны фронта свидетельствуют о высокой степени общности – коэффициент Серенсена-Чекановского составил 0.75 (табл. 2).

Всего на акватории в составе микропланктона отмечено 48 таксонов видового ранга: диатомеи (Bacillariophyta, 13 видов), динофлагелляты

(Dinophyta, 17), золотистые (Chrysophyta, 1), кокколитофориды (Haptophyta, 1), прازیнофитовые (Prasinophyta, 1), инфузории (Infusoria = Ciliophora, 9), радиоларии (Radiolaria = Radiozoa, 4), формы неясного таксономического положения (incertae sedis, 2).

Таблица 2

**Результаты сравнения отдельных участков акватории по таксономическому составу микропланктона**

Table 2

**Results of the waters comparison by microplankton taxonomic composition**

Сравниваемые участки	Коэффициент Серенсена-Чекановского
Кромка (станции 67, 71, 75)–чистая вода (станции 68, 72, 76)	0.85
Прикромочная область–север полярного фронта	0.7
Север–юг полярного фронта	0.75
Прикромочная область–юг полярного фронта	0.6

Сходство таксоценозов заметно уменьшается по мере увеличения расстояния между сравниваемыми участками, так что наименее сходны альгоценоз в области кромки с таковым на южной стороне полярного фронта (табл. 2).

Виды микропланктона, отмеченные на всей исследуемой акватории, можно обозначить как ядро таксоценоза. В нашем случае на всех трех участках присутствовали клетки 17 видов микропланктона, составившие 35 % общего числа таксонов (табл. 1).

Характер распределения 12 таксонов по материалам данного исследования надежно не установлен (их клетки отмечены однократно и в 1 экз.), еще одна форма (*Protoperidinium* sp. *crassipes*?) определена сомнительно. Эти таксоны не использованы для дальнейшего анализа структурной организации микропланктона. Без их учета структурное ядро таксоценоза (17 видов) составило 73 % общего числа видов в прикромочной области, 57 % – на северной стороне полярного фронта, 59 % – на южной стороне фронта.

Среди прочих следует отметить таксоны с ограниченным распределением по акватории: их клетки обычны на одних участках акватории и не отмечены на других. В прикромочной области это *Nitzschia* aff. *longissima* и *Tontonia gracillima*. Еще 4 вида отмечены на всей северной части акватории (прикромочная область и северная сторона полярного фронта) и не отмечены южнее – *Ceratium longipes*, *Chaetoceros atlanticus*, *C. decipiens* и *Strombidium strobilus*. Заметно больше видов, ограниченных в распространении только южной частью акватории (по обе стороны полярного фронта – 9 видов): *Chaetoceros furcillatus* (только гипноспоры), *Dictyocha speculum*, *Halosphaera viridis*, *Micracanthodinium*

*setiferum*, *Prorocentrum balticum*, *Protoperidinium ovatum*, *P. aff. curtipes*, *Protocystis tridens*, *Tintinnopsis patula*. Еще 3 вида обычны только на южной стороне полярного фронта – *Corethron criophilum*, *Lithomelissa setosa*, *Coccolithus pelagicus*.

В направлении с юга на север (15 миль) через полярный фронт из состава таксоценоза “выпадает” 3 вида из 29, в обратном направлении – 4 из 30. Далее на север, от северной стороны полярного фронта до прикромочной области (около 100 миль), “выпадает” 9 видов из 30, в обратном направлении – 2 из 23.

В прикромочной области внутри фронтальной зоны кромка–чистая вода шириной 4 мили структурные изменения таксоценоза минимальны, различия определяются одним видом.

Северная сторона полярного фронта (станции 89 и 90) выявляется как зона смешения двух структурных вариантов таксоценоза: отмечено максимальное число таксонов (30 без учета однократно встреченных); нет таких таксонов, которые были бы обычны только здесь и отсутствовали на остальной части акватории; степень таксономического сходства с соседними участками, оцениваемая коэффициентом Серенсена–Чекановского, в равной степени высокая.

**Заключение.** Полярный фронт ограничивает распространение семи видов микропланктона: четыре вида в своем распространении явно тяготеют к северной части исследованной акватории и не переходят на южную границу фронта (*Ceratium longipes*, *Chaetoceros atlanticus*, *C. decipiens*, *Strombidium strobilus*), три таксона из числа обычных на южной границе не переходят на его северную границу (*Corethron criophilum*, *Lithomelissa setosa*, *Coccolithus pelagicus*).

Фронтальная зона, отмеченная у границы дрейфующего молодого льда, практически не влияет на структуру таксоценоза: в направлении от кромки к открытой воде в пелагиали появляется только один вид (*Chaetoceros atlanticus*).

Несмотря на значительные градиенты гидрологических параметров в обеих фронтальных зонах, существенной модификации таксоценоза здесь не происходит. Распространение 17 видов микропланктона не лимитируется фронтальными границами. Эта группа составляет большую часть таксоценоза на отдельных участках – 60–70 % и 35 % от общего числа таксонов всей акватории.

## Литература

Беклемишев К. В. Экология и биогеография пелагиали. М.: Наука, 1969. 291 с.

Беклемишев К. В., Бурков В. А. Связь распределения планктона с распределением водных масс в зоне фронтов северо-западной части Тихого океана // Тр. Ин-та океанологии АН СССР. 1958. Т. 27. С. 55–65.

Бойцов В. Д. Изменчивость температуры воды Баренцева моря и ее прогнозирование. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2006. 290 с.

Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Структура и продуктивность зоопланктонных сообществ фронтальных зон Баренцева моря в августе 2010 г. // Наука Юга России. 2017. Т. 13, № 3. С. 71–84.

Зенкевич Л. А. Биология морей СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 738 с.

Книпович Н. М. Гидрология морей и солоноватых вод (в применении к промысловому делу). М.; Л.: Пищепромиздат, 1938. 514 с.

Макаревич П. Р., Дружкова Е. И. Сезонные циклические процессы в прибрежных планктонных альгоценозах северных морей. Ростов н/Д.: Изд. ЮНЦ РАН, 2010. 280 с.

Макаревич П. Р., Олейник А. А. Фитопланктон Баренцева моря в весенний период: состав и структура в районе ледовой кромки // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2017. Сер. Океанология. Вып. 4, № 2(8). С. 50–58.

Методические рекомендации по анализу количественных и функциональных характеристик морских биоценозов северных морей. Ч. 1. Фитопланктон. Зоопланктон. Взвешенное органическое вещество. Апатиты: Изд. КНЦ АН СССР, 1989. 29 с.

Ожигин В. К., Терещенко В. В. Термические фронтальные зоны Баренцева моря и особенности распределения скоплений промысловых рыб // Вопросы промысловой океанологии Северного бассейна. Мурманск: Изд. ПИНРО, 1989. С. 104–117.

Руководство по методам биологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 236 с.

Чвилев С. В. Гидрологические фронты юго-западной части Баренцева моря и их внутригодовая изменчивость // Гидрология Южного океана и Северной Атлантики. Л.: Изд. ЛГМИ, 1990. Вып. 109. С. 101–116.

Чвилев С. В. Фронтальные зоны Баренцева моря // Метеорология и гидрология. 1991. № 11. С. 103–108.

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2018-9-4-29-44

УДК 581.526.325.3 (268.4)

**Е. И. Дружкова**

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

## **НАНОФИТОПЛАНКТОН ЛЕДОВОЙ ПРИКРОМОЧНОЙ ЗОНЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2017 ГОДА**

### **Аннотация**

В июле 2017 г. в ледовой прикромочной зоне Баренцева моря изучено сообщество нанофитопланктона. Пробы были отобраны в верхнем 50-метровом слое зоны дрейфующих льдов и свободной от льда акватории. В ходе анализа полученных результатов установлено, что сообщество нановодорослей находилось на стадии сезонной олиготрофии, для которой характерны высокая неоднородность пространственного распределения, доминирование в составе сообщества размерной фракции 2–5 мкм и опускание ядра цветения из поверхностного горизонта на глубину 50 м. Уровни обилия нанофитопланктона сопоставимы с таковыми наиболее

продуктивных областей арктических архипелагов, что на фактическом материале подтверждает высокий продукционный статус прикромочной зоны не только на пике цветения фитопланктона, но и на стадии сезонной олиготрофии и свидетельствует о значительной роли фотосинтетиков нанопланктонного размерного диапазона в структуре и функционировании пелагического фитоценоза в этом районе.

**Ключевые слова:**

Баренцево море, прикромочная зона, нанопланктон.

**E. I. Druzhkova**

Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia

**NANOPHYTOPLANKTON OF THE MARGINAL ICE ZONE OF THE BARENTS SEA  
IN SUMMER 2017**

**Abstract**

In July 2017, the nanophytoplankton community was studied in the marginal ice zone of the Barents Sea. Samples were taken in the upper 50 m of the zone of drifting ice and the ice-free waters. The analysis of the results showed that during the study period nanoalgae community was in the stage of seasonal oligotrophy, the main features of which are the high heterogeneity of the spatial distribution, the prepotence of size fraction 2–5 mm and blossoming nucleus lowering from surface horizon to the depth of 50 m. Levels of nanophytoplankton abundance were comparable to those of the most productive areas of the Arctic archipelago that materially confirms the high productional status of the marginal ice zone, not only at the peak of phytoplankton bloom, but also on the stage of the season oligotrophy and demonstrates the significant role of photosynthetic nanoplankton size range in the structure and functioning of the pelagic phytocene in the area.

**Keywords:**

Barents Sea, marginal ice zone, nanophytoplankton.

**Введение.** Сложная гидрография, морфология дна и относительная мелководность – основные черты, выделяя Баренцево море в ряду окраинных шельфовых арктических морей, определяют высокую продуктивность его акватории. В цифровом выражении первичная продукция Баренцева моря оценивается величиной 136 Тг С/год, что составляет 49 % общей первичной продукции всего арктического шельфа (Sakshaug, 2004). Основная часть первичной продукции в арктических морях формируется в зонах граничных разделов, частным случаем которых является так называемая ледовая прикромочная зона – один из наиболее динамичных и продуктивных районов в Мировом океане (Phytoplankton ..., 1987; Magnitude ..., 2008). В широком смысле прикромочная зона – это участок акватории от паковых до границы максимального распространения сезонных льдов, и в Баренцевом море в отдельные годы может занимать до 90 % общей поверхности моря (Vinje, Kvambekk, 1991). Однако часто под термином “прикромочная зона” имеется ввиду кромка льда (согласно словарю морских ледовых терминов – граница между чистой водой и морскими льдами любой

сплоченности), с которой связаны основные физические и биологические процессы, в частности, прикромочное цветение.

Прикромочное цветение – явление универсальное. Оно описано для всех районов распространения сезонного льда – морей Берингова (Alexander, Niebauer, 1981; Niebauer et al., 1995), Чукотского и Бофорта (Hill et al., 2005; Phytoplankton ..., 2009), Канадского архипелага (Phytoplankton ..., 2002; Bloom ..., 2006), Гренландского (New ..., 1997) и Баренцева (Luchetta et al., 2000; Hegseth, Sundfjord, 2008), а также Южного океана (Smith, Nelson, 1985) как основное экологическое событие в годовом сукцессионном цикле фитопланктона на открытом шельфе. В частности, в Баренцевом море на долю прикромочного цветения приходится 50–65 % годовой первичной продукции (Sakshaug, 2004).

Таким образом, прикромочное цветение [в терминологии некоторых авторов “прикромочный эффект” (Sakshaug, Skjoldal, 1989; Strass, Nöthig, 1996; Sakshaug, 1997)] – явление давно известное, широко распространенное, но до настоящего времени слабо изученное. И этому парадоксальному, на первый взгляд, обстоятельству есть ряд объективных причин, первая из которых – это сам район исследований. Кромка льда представляет собой гидродинамически активную зону, занятую ледовыми полями различной мощности и сплоченности, что значительно затрудняет, а иногда делает невозможным проведение экспедиционных исследований в этом районе. Кроме того, одна из основных характеристик прикромочного цветения – высокая пространственная и временная гетерогенность. В классическом представлении прикромочное цветение ограничивается узкой длинной полосой открытой воды вдоль ледовой границы, которая перемещается к северу по мере разрушения и таяния льда в течение всего весеннего и летнего периодов (Physical ..., 2000). При этом развитие фитопланктона напрямую зависит от состояния ледового покрова в каждый конкретный момент, что в свою очередь зависит от взаимодействия целого ряда физических и геохимических факторов. При этом площадь, которую проходит кромка льда по акватории Баренцева моря за сезон составляет около  $0.5 \cdot 10^6$  км<sup>2</sup> (Strass, Nöthig, 1996), а межгодовые флуктуации ее широтной локализации могут достигать нескольких сотен километров (Arctic ..., 1992).

При таком пространственном масштабе прикромочное цветение – очень кратковременный процесс. По данным спутникового зондирования, активная его фаза в каждой конкретной точке длится не более 5–6 сут. и находится в пределах 20 сут. на участке одной широтной локализации в сходных ледовых условиях. Продолжительность всего цикла на акватории Баренцева моря составляет 2–3 мес. (Near-ubiquity ..., 2011). При таких сжатых сроках и значительной межгодовой изменчивости процесс трудно зафиксировать, тем более что до настоящего времени нет единого мнения о сроках и условиях его начала. По одним данным весенняя активизация начинается под сплошным

ледовым покровом за 2 мес. до начала таяния льда, расходясь волнами к северу и югу от точек начала активизации (Spring ..., 1999), которые в ряде случаев могут быть связаны с участками прозрачного льда и(или) с полыньями и разводьями в ледовом покрове. По другим данным цветение развивается только на свободной от льда акватории, причем для его активизации фаза чистой воды должна продолжаться около 2 недель (Spatial ..., 2002). В любом случае цветение в поверхности очень непродолжительно и в скором времени опускается на слой сезонного пикноклина, где формируется глубокий максимум хлорофилла и продуцирование продолжается в течение всего летнего периода (Hodal, 2011). В пространственном отношении зона влияния прикромочного эффекта распространяется по одним данным на расстояние 20–100 км, по другим – 20–50 км к югу (Near-ubiquity ..., 2011) и к северу (Strass, Nöthig, 1996) от ледовой кромки. Такая сложная пространственно-временная организация прикромочного цветения зачастую сильно затрудняет, а иногда делает невозможным сравнение между собой данных (даже полученных во время одного сукцессионного цикла) как в пространственном, так и во временном плане, поскольку ход сезонного развития фитопланктона может носить не только временной, но и пространственный характер (Luchetta et al., 2000). Так в мае 1999 г. было показано, что в поверхности на расстоянии всего нескольких километров не только концентрация хлорофилла различалась на порядок, но и сообщество фитопланктона при этом находилось на разных стадиях сукцессионного цикла (Spatial ..., 2002).

В настоящее время существуют две основные точки зрения на развитие прикромочного цветения. По одной из них все стадии сукцессионного цикла фитопланктона могут быть зафиксированы на меридиональном разрезе, выполненном в течение всего летнего периода в прикромочной зоне (Sakshaug, Skjoldal, 1989); по другой – весеннее цветение в Баренцевом море достигает своих максимальных значений в мае на всей свободной от льда акватории, включая зону дрейфующих льдов, и затухает в летние месяцы, а отмеченные в ряде случаев вспышки фитопланктона летом в прикромочной зоне носят вторичный факультативный характер (Food ..., 2006).

Таким образом, прикромочное цветение – явление чрезвычайно сложное не только в плане получения материала для исследований, но и в плане анализа полученных результатов, и, как следствие, многие вопросы его организации остаются невыясненными. При этом все исследователи сходятся во мнении, что именно время начала и длительность этого процесса являются ключевым фактором, который определяет продолжительность сезона вегетации планктонного фитоценоза в целом, объем годовой первичной продукции и продуктивность всех звеньев пищевой цепи в арктических водах (Strass, Nöthig, 1996).

Классическое представление о структуре весеннего цветения фитопланктона в умеренных, субарктических и арктических водах базируется



на пионерских работах Х. Свердрупа (Sverdrup, 1953) и Д. Кушинга (Cushing, 1959), согласно которым именно массовое лавинообразное развитие комплекса крупных колониальных диатомей формирует весеннее цветение как таковое и является маркером начала вегетационного периода в пелагиали, причем отличие прикромочного цветения от классической схемы заключается только в его кратковременности, интенсивности и жесткой привязке к поверхностному распресненному слою. Более того, долгое время считалось, что для арктических вод характерна короткая простая пищевая цепь, базовыми звеньями которой являются диатомовые водоросли и мезозоопланктон. Однако это представление верно лишь отчасти, и роль диатомового комплекса сильно ограничена как во временном, так и в пространственном аспектах. В прикромочной зоне сукцессионный цикл фитопланктона имеет сложный многоступенчатый характер и в его структуре выделяются фазы: начальная, роста, максимальной активизации (пик) и сезонной олиготрофии (Spring ..., 1999). Доминирование диатомовых (наряду с феоцистисом) характерно только для третьей фазы – пика цветения, причем их активизация проходит на фоне стабильного развития сообщества нанопланктона. Необходимо отметить, что в литературе активно обсуждается роль мелких размерных фракций в годовой продукции и сукцессионном цикле и пелагического фитоцена в целом в зонах граничных разделов на разных стадиях годового цикла (Phytoplankton ..., 1987; Plankton ..., 1991; Environmental-control ..., 1993; Size-differential ..., 1996; Food ..., 2006), в частности, в прикромочной зоне Баренцева моря (Grazing ..., 2002). Дело в том, что размерная структура фитопланктона не только в значительной мере определяет степень дисперсности среды и рассеяния поступающего света, контролируя таким образом глубину фотического слоя (Durand, Olson, 1996), но именно размерная структура определяет путь преобразования вещества (рециклинг или экспорт) и, соответственно, содержание и состав пула биогенных элементов (Environmental-control ..., 1993), а также длину и структуру пищевой цепи и экологическую эффективность передачи энергии по ней (Ryther, 1969).

Важная роль, которую играет мелкоклеточная фракция в структуре прикромочного цветения, подчеркивается всеми исследователями, рассматривающими этот вопрос. Вместе с тем базовые данные о численности и биомассе нанопланктона в прикромочной зоне в литературе отсутствуют.

Таким образом, цель настоящей работы – исследование состояния сообщества нанофитопланктона в центральной части Баренцева моря (включая зону дрейфующих льдов) на основании данных, полученных методом прямого учета с использованием эпифлуоресцентной микроскопии.

**Материал и методы.** Материал был получен в ходе экспедиции на НИС “Дальние Зеленцы” 16–17 июля 2017 г. Батометрические пробы отбирали по горизонтам 0, 5, 10, 25, 50 м в верхнем 50-метровом слое.

Пробы воды объемом 25–50 мл (в зависимости от содержания нановодорослей и взвешенного вещества) фиксировали раствором

глутарового альдегида (конечная концентрация 0.5 %) и концентрировали на ядерных фильтрах (г. Дубна) с диаметром пор 0.8 мкм с помощью шприца Жанэ, оснащенного фильтрационной насадкой (диаметр 22 мм). После этого фильтры были окрашены примулином (Caron, 1983) и исследованы под эпифлуоресцентным микроскопом АХЮ Imager. D1 при ув. 1000 (возбуждение автофлуоресценции хлорофилла синим светом). Клетки нанопланктона учитывались по размерным фракциям от 2 до 20 мкм с дискретностью 1 мкм (согласно цене деления окуляр-микрометра). При анализе результатов проведена группировка по трем размерным классам: 2–5, 5–10 и 10–20 мкм. Размеры клеток измеряли индивидуально с помощью окуляр-микрометра, при вычислении объемов применяли сферическую или сфероидальную аппроксимацию форм клеток. В анализ по нанофитопланктону не включены данные по диатомовым водорослям аналогичного размера и агрегированным нановодорослям, которые по своим гидродинамическим характеристикам относятся к организмам микропланктона. Таким образом, рассмотренный материал представляет преимущественно группу автотрофных одиночных жгутиковых и коккоидных форм нанопланктонного размерного диапазона.

В данной работе представлены результаты исследований фотической зоны (верхнего 50-метрового слоя) северной части разреза “Кольский меридиан” от 76.5° с. ш. до границы дрейфующих льдов (рис. 1).

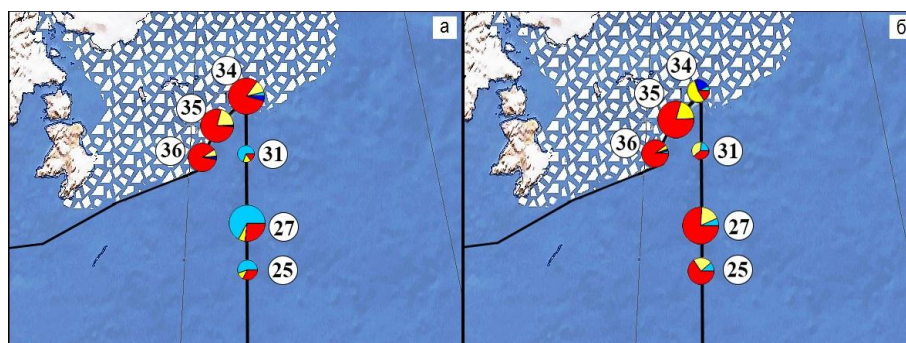


Рис. 1. Интегральная численность (а) и биомасса (б) нанофитопланктона в слое воды 0–50 м. Диаметр окружностей пропорционален абсолютным значениям параметра, цветом выделены относительные значения параметра для слоев 0–10 м (голубой), 10–25 м (желтый), 25–50 м (красный) – разрез “Кольский меридиан”; 0–5 м (голубой), 5–10 м (синий), 10–25 м (желтый), 25–50 м (красный) – разрез вдоль ледовой кромки. Номера станций отбора проб обозначены цифрами

Fig. 1. Integral number (a) and biomass (b) of nanophytoplankton in the water layer 0–50 m. Diameters of the circles are proportional to the absolute values of the parameter, relative values of the parameter are marked by color for the layers 0–10 m (cyan), 10–25 m (yellow), 25–50 m (red) – the section “Kola Meridian”; 0–5 m (cyan), 5–10 m (blue), 10–25 m (yellow), 25–50 m (red) – the section along the ice edge. The sampling stations are labelled with numbers

**Результаты.** Для удобства изложения материал будет рассмотрен на разрезе “Кольский меридиан” (участок от 76.8° с. ш. до ледовой кромки, станции 25–34) и разрезе непосредственно вдоль границы дрейфующих льдов (станции 34–36). Океанографические условия на станциях открытой воды разреза “Кольский меридиан” определялись присутствием слабовыраженного термоклина на глубине 30–10 м, температура в поверхности примерно 2 °С (рис. 2).

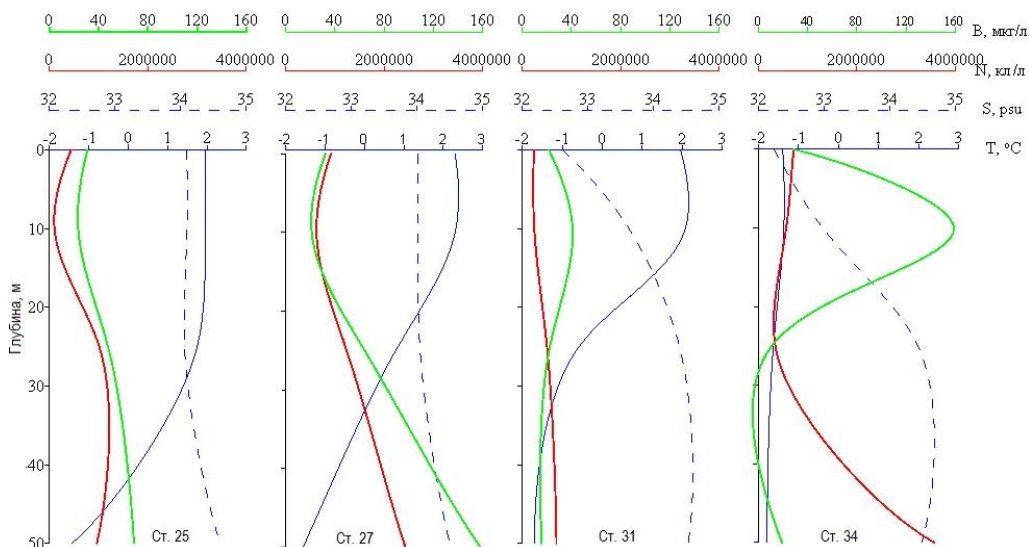


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры (Т, синяя сплошная линия) и солёности (S, синяя пунктирная линия) воды, численности (N, красная сплошная линия) и биомассы (B, зеленая сплошная линия) нанофитопланктона на участке разреза “Кольский меридиан”

Fig. 2. Vertical distribution of the water temperature (T, blue solid line), salinity (S, blue dashed line) and nanophytoplankton number (N, red solid line), biomass (B, green solid line) at the part of the section “Kola Meridian”

Обилие нанопланктона изменялось от 100500 кл/л до 3.5 млн кл/л и более (в среднем 880 тыс. кл/л) при биомассе от 10.8 до 159 мкг/л (в среднем 48 мкг/л). По численности практически на всех исследованных точках 78–100 % приходилось на долю младшей размерной фракции (2–5 мкм), в составе которой стабильно лидировали мелкие жгутиковые диаметром 2 мкм (74–99 %) и лишь в отдельных случаях были зарегистрированы высокие удельные численности (58, 76, 79, 93 % соответственно) клеток диаметром 5 мкм. В формировании совокупной биомассы сообщества основная роль (50–90 %) принадлежала размерной фракции 6–10 мкм во всем столбе воды за исключением горизонта 50 м, где младшая размерная фракция сохраняла свою доминирующую (позицию) роль и в терминах относительной биомассы. Нужно отметить, что роль старшей размерной фракции в сообществе была крайне

незначительной, а зарегистрированные в отдельных случаях высокие значения ее относительной биомассы являлись скорее свидетельством присутствия отдельных крупных (в масштабах нанофракции) клеток в пелагиали (рис. 3).

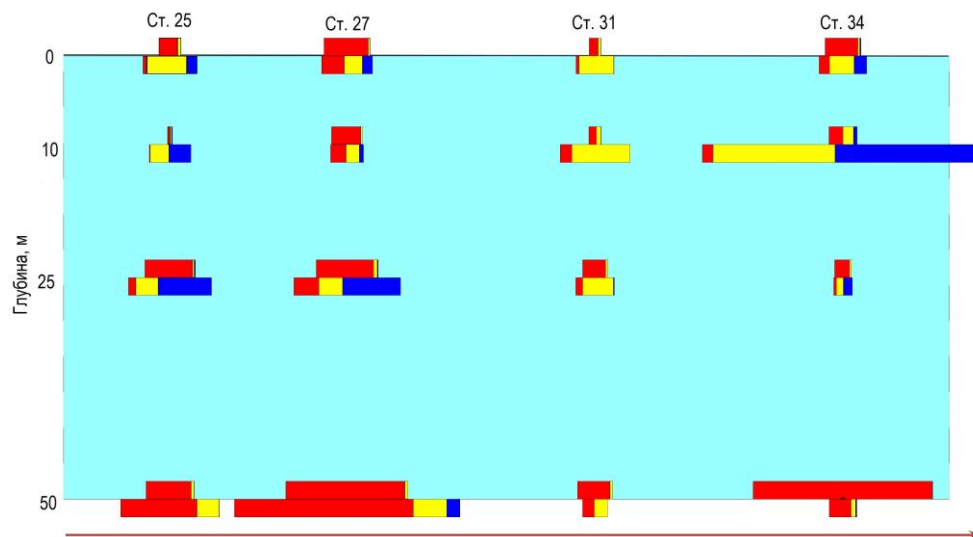


Рис. 3. Вертикальное распределение численности (верхний композит) и биомассы (нижний композит) нанофитопланктона по горизонтам на разрезе “Кольский меридиан”. Длина композита пропорциональна абсолютным значениям показателей. Цветом обозначена относительная доля размерных фракций: 2–5 мкм – красный, 6–10 мкм – желтый, 11–20 мкм – синий

Fig. 3. Vertical distribution of nanophytoplankton number (upper composite) and biomass (lower composite) at different layers at the section “Kola Meridian”. Composite length is proportional to the absolute rates. Relative parts of size fractions are marked by color: 2–5  $\mu\text{m}$  – red, 6–10  $\mu\text{m}$  – yellow, 11–20  $\mu\text{m}$  – blue

При анализе пространственного распределения интегральных количественных характеристик сообщества никаких закономерностей выявлено не было. Интегральная численность нановодорослей в слое 0–50 м изменялась в пределах 23–67 млн кл/м<sup>2</sup> без видимой привязки к широтной локализации и к положению относительно ледовой кромки (рис. 1). Максимальные значения показателя были приурочены к слою 25–50 м. Тенденция к увеличению численности с глубиной четко прослеживалась и при детальном анализе вертикального распределения абсолютных показателей обилия сообщества в единице объема по горизонтам отбора проб (рис. 3). Максимальная численность была зарегистрирована на глубине 50 м на всем исследованном участке акватории, при этом по структурной организации выделялись следующие сообщества:

- 1) с доминированием мелких жгутиковых (диаметр 2 мкм);
- 2) с доминированием *Phaeocystis pouchetii*.

На фоне стабильного доминирования мелких флагеллят ядро развития феоцистиса отмечено на глубине 5 м непосредственно у ледовой кромки (ст. 34) и далее по направлению к югу на глубине 10 м (ст. 31) и 50 м (станции 27 и 25), т. е. по мере удаления от ледовой границы “цветение” феоцистиса заглубляется до слоя сезонного пикноклина.

Интегральные биомассы нановодорослей для слоя 0–50 м также отличались широким диапазоном изменчивости (от 1.2 до 3.7 мг/м<sup>2</sup>) и пространственной хаотичностью (рис. 1б). Картина распределения биомассы по вертикали принципиально отличалась от описанной для численности: единой тенденции к увеличению с глубиной не прослеживалось, максимальные значения были зарегистрированы в подповерхностном (5–10 м) слое на северных станциях разреза (за счет развития групп 6–10 мкм и 11–20 мкм) и на глубине 50 м – на южных, где локализовалось описанное и в терминах относительной численности ядро развития феоцистиса (рис. 3). Таким образом, оседание *Phaeocystis pouchetii* из поверхностных горизонтов на слой сезонного пикноклина по мере удаления от ледовой кромки подтверждается и при анализе вертикального распределения биомассы нанофитопланктона, хотя в этом случае его относительная доля в поверхности невелика на фоне развития более крупных, но менее многочисленных фракций.

На разрезе вдоль ледовой кромки (станции 34–36) океанографические условия определялись слабовыраженным галоклином вследствие таяния льда и распреснения поверхностного слоя, температура была близкой к температуре замерзания (рис. 4).

Интегральные показатели развития нанопланктона для слоя 0–50 м были более стабильны и соответствовали максимальным, зарегистрированным на разрезе “Кольский меридиан”: численность от 49 до 61 млн кл/м<sup>2</sup> при биомассе от 2.4 до 3.4 мг/м<sup>2</sup> (рис. 1). При этом диапазон колебаний абсолютных показателей обилия сообщества по данным прямого учета в единице объема для отдельных точек отбора проб составил от 45 тыс. до 3.5 млн кл/л и более для численности и от 3 до 192 мкг/л для биомассы, что свидетельствует о высокой неоднородности вертикального распределения нанофитопланктона. В структурном отношении по численности на всем исследованном участке доминировала размерная группа 2–5 мкм (72–100 %), в составе которой доля мелких автотрофных флагеллят (диаметр 2 мкм) составляла от 60 до 99 % в 2/3 наблюдений, и только в двух случаях лидировали клетки диаметром 5 мкм (80 и 89 % соответственно). В терминах относительной биомассы нанопланктон в области ледовой кромки представлял собой достаточно пестрое сообщество, и только на глубине 50 м стабильно доминировала младшая размерная фракция, но при этом общая биомасса изменялась от 19 мкг/л на ст. 34 до 130 мкг/л на ст. 35 и 192 мкг/л на ст. 36.

При анализе вертикального распределения тенденция к увеличению численности с глубиной, отмеченная на меридиональном разрезе,

сохранялась, в то время как профили биомассы различались в каждом конкретном случае (рисунки 4, 5).

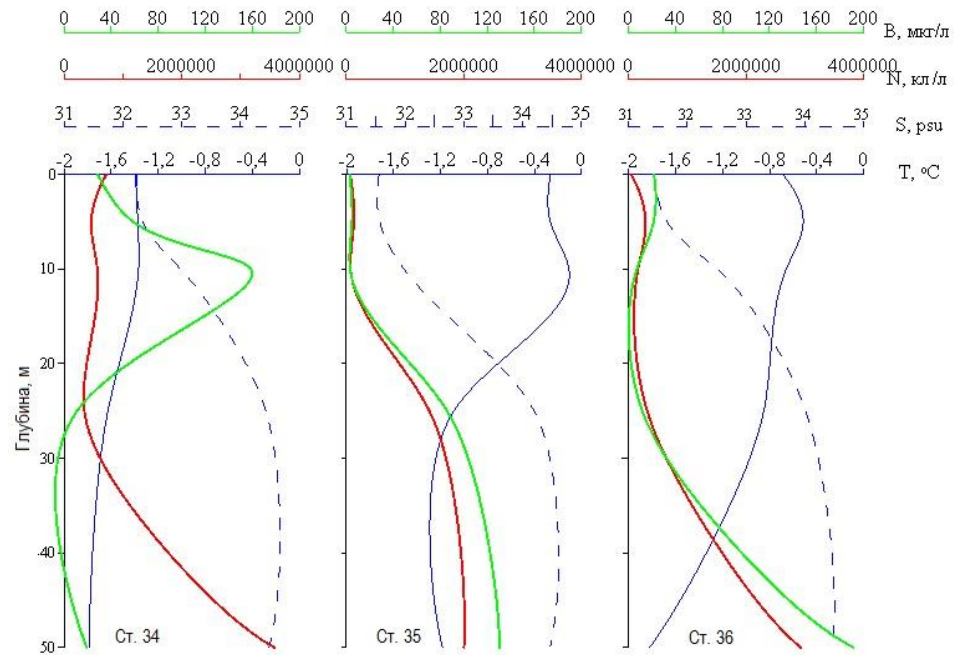


Рис. 4. Вертикальное распределение температуры и солёности воды, численности и биомассы нанофитопланктона на разрезе вдоль кромки льда. Условные обозначения см. рис. 2

Fig. 4. Vertical distribution of the water temperature, salinity and nanophytoplankton number, biomass at the section along the ice edge. For legend see fig. 2

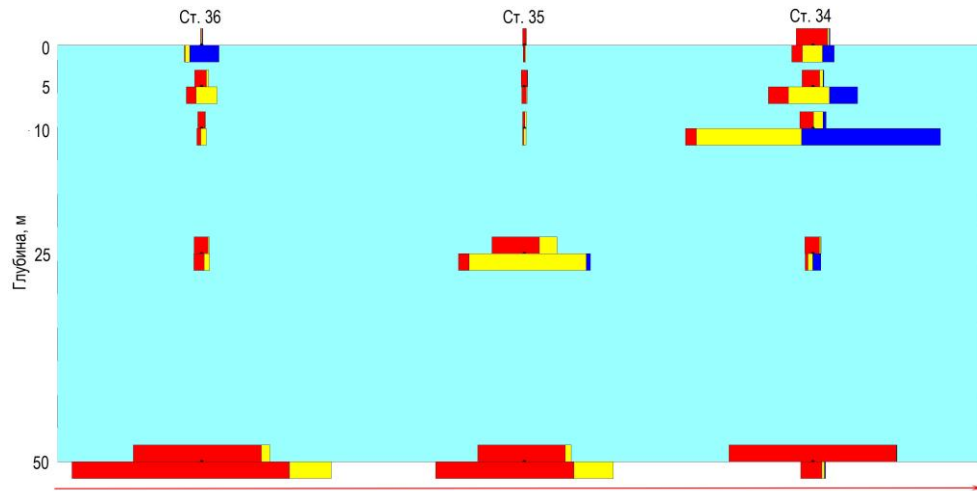


Рис. 5. Вертикальное распределение численности (верхний композит) и биомассы (нижний композит) нанофитопланктона по горизонтам на разрезе вдоль кромки льда. Условные обозначения см. рис. 3

Fig. 5. Vertical distribution of nanophytoplankton number (upper composite) and biomass (lower composite) at different layers at the section along the ice edge. For legend see fig. 3



На станции 34 (78.7° с. ш., 35.5° в. д.) общая биомасса сообщества плавно увеличивалась от 28 мкг/л в поверхности до 59 мкг/л на глубине 5 м и 159 мкг/л на глубине 10 м, причем во всех трех случаях относительная доля размерной фракции 6–10 мкм стабильно составляла 43–48 %, и в ее составе доминировали клетки диаметром 10 мкм (60–80 %). Высокая биомасса сообщества на глубине 10 м была сформирована представителями старшей размерной фракции (11–20 мкм, 52 %), в основном клетками диаметром 15 мкм. Ниже 10-метрового слоя зафиксирован резкий спад биомассы до 11 мкг/л на глубине 25 м и 19 мкг/л на 50 м, где доля младшей размерной фракции достигала 83 %. На станции 35 (78.4° с. ш., 31.7° в. д.) в слое 0–10 м были зарегистрированы минимальные значения биомассы (3–5 мкг/л), далее на глубине 25 м наблюдался резкий (в 28 раз) скачок до 86 мкг/л при доминировании клеток диаметром 7 мкм (80 % от совокупного показателя). Биомасса нановодорослей на глубине 50 м составила 130 мкг/л, 80 % сообщества в этом случае было сформировано представителями младшей размерной фракции. На станции 36 (78° с. ш., 30.8° в. д.) общая биомасса нанофитопланктона остается низкой (7–22 мкг/л) до глубины 50 м, где она достигает максимальных на разрезе значений (192 мкг/л) за счет развития размерной группы 2–5 мкм, чья доля достигает 86 %.

Таким образом, основные черты, характерные для нанофитопланктона в июле 2017 г. в центральной части и прикромочной зоне в Баренцевом море, следующие:

- 1) высокая неоднородность пространственного распределения как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении;
- 2) доминирование в составе сообщества размерной фракции 2–5 мкм не только по численности, но и в ряде случаев по биомассе;
- 3) основные компоненты структурной организации – мелкие флагелляты диаметром 2 мкм и примнезиофитовая водоросль *Phaeocystis pouchetii*;
- 4) опускание ядра цветения в южном направлении из поверхностного горизонта на глубину 50 м.

Следовательно, в июле 2017 г. сообщество нанофитопланктона в прикромочной зоне Баренцева моря находилось на стадии сезонной олиготрофии, для которой характерно доминирование мелких клеток в составе нанопланктона и опускание ядра цветения на слой сезонного пикноклина (Strass, Nöthig, 1996).

**Обсуждение.** Как уже было отмечено выше, все исследователи сходятся во мнении относительно значительной роли нанопланктона в структуре и функционировании весеннего и, в частности, прикромочного цветения. Так Х. Ходал с коллегами (Hodal, Kristiansen, 2008; Hodal, 2011) на основании проведенных исследований делает вывод о том, что мелкоклеточные планктонные водоросли являются важным компонентом как арктических пищевых цепей в целом, так и во время прикромочного

цветения. Т. Н. Ратькова и П. Вассманн (Rat'kova, Wassmann, 2002) в качестве основного вывода своей работы рассматривают факт стабильного присутствия наноформ в различных типах вод – атлантических, свободных от льда арктических и в зоне ледовой кромки, где их доля в пелагическом альгоценозе изменяется от 80–90 % большую часть года до 30 % на пике весеннего цветения, и для которых характерны минимальные колебания показателей количественного развития во времени и пространстве. На примере исландского и норвежского бассейнов было показано активное функционирование нановодорослей до периода весенней активизации диатомей (Winter-spring ..., 2015). Более того, при детальном исследовании прикромочного цветения фаза максимальной активизации разделяется на три подэтапа. В первом из них вклад планктонных водорослей ( $\leq 10$  мкм) в совокупную биомассу сообщества составляет 66–87 %, в первичную продукцию – 72–96 %; в третьем – 61–66 и 83–99 % соответственно, и только в период очень короткого второго подэтапа относительная биомасса мелкой размерной фракции фитопланктона падает до 26 %, при этом ее вклад в первичную продукцию превышает 30 % (Nodal, Kristiansen, 2008). Доминирование нанопланктона в структуре прикромочного цветения описано не только для Баренцева моря (Spring ..., 1999; Seasonal ..., 2002; Rat'kova, Wassmann, 2002; Nodal, Kristiansen, 2008), но и для пролива Фрама (Phytoplankton ..., 1987), Гренландского моря (Environmental-control ..., 1993) и других акваторий.

Отметим, что базовые данные о численности и биомассе нанопланктона в прикромочной зоне в литературе отсутствуют. Выводы о роли мелких размерных фракций делаются авторами на основании косвенных данных, таких как концентрация хлорофилла после фракционирования пробы (Nodal, Kristiansen, 2008; Nodal, 2011), либо в качестве мелкоклеточной фракции рассматривается сборная группа пико-, нано- и микрозоопланктона, причем рассматривается она с помощью светового микроскопа без использования эпифлуоресценции в камере Фукса-Розенталя при ув. 400 (Spring ..., 1999; Rat'kova, Wassmann, 2002). Подобный методический подход снижает ценность полученных результатов (которые, кстати, приводятся в единицах углерода под метром квадратным для слоя 0–90 м). Однако, как уже было сказано, прямых данных о количественных характеристиках и качественном составе нанопланктона в прикромочной зоне в литературе не приводится, что заставляет авторов при обсуждении полученных ими результатов использовать количественные характеристики нановодорослей прибрежной зоны Мурмана (Druzhkov et al., 1992). При этом, как уже было указано ранее, доминирование мелких клеток (менее 20 мкм) и опускание ядра цветения на слой сезонного пикноклина на стадии сезонной олиготрофии (июнь–июль) отмечается всеми авторами. Единичные цифровые данные приводятся для концентрации феоцистиса.

А. Лучетта с соавторами (Luchetta et al., 2000) указывают его численность ( $10^7$  кл/л) на глубине 33 м в июле 1991 г., Т. Н. Ратькова и П. Вассманн (Rat'kova, Wassmann, 2002) – биомассу (400 мкг С/л) в слое 10–20 м в июне–июле 1999 г. В работе последних авторов, кроме того, приведена биомасса флагеллят (150 мкг С/л) на глубине 20 м.

Таким образом, сравнение полученных в настоящем исследовании данных возможно только с таковыми аналогичного сезона для других участков акватории Баренцева моря. Так, в августе 2006 г. во внутренних водах архипелага Земля Франца-Иосифа численность нановодорослей составила более 1 млн кл/л при биомассе 300–400 мкг/л, относительная численность размерной фракции 2–5 мкм превышала 80 % (Особенности ..., 2014). В августе 2007 г. на той же акватории численность наноформ превысила 3.5 млн кл/л (относительная доля младшей размерной фракции 60–90 %) при биомассе 260 мкг/л (Особенности ..., 2014). Максимальные показатели обилия в описанных случаях были приурочены к поверхностному слою. Высокие концентрации нановодорослей также были зафиксированы в фьордах Западного Шпицбергена в августе 2001 г. (Дружкова, 2011). Так в заливе Хорнсунн – более 1.5 млн кл/л при биомассе 400 мкг/л в поверхностном слое, относительная доля мелких клеток составила 30–60 % по численности, на глубине 50 м этот показатель увеличился до 70–100 %. В Ван-Кёллен-фьорде (залив Белльсунн) в поверхностном горизонте нановодорослей насчитывалось 2.2 млн кл/л при биомассе 140 мкг/л, в мористой части фьорда ядро сообщества локализовалось на глубине 50 м. Аналогичное заглубление пика развития наблюдалось на акватории Ис-фьорда.

Таким образом, отмеченные в июле 2017 г. в зоне ледовой кромки Баренцева моря уровни обилия нанофитопланктона сопоставимы с таковыми наиболее продуктивных областей арктических архипелагов, что на фактическом материале подтверждает высокий продукционный статус прикромочной зоны не только на пике цветения фитопланктона, но и на стадии сезонной олиготрофии и свидетельствует о значительной роли фотосинтетиков нанопланктонного размерного диапазона в структуре и функционировании пелагического фитоцена в этом районе.

Работа выполнена по теме 9-17-01 (51) в рамках государственного задания № 0228-2018-0001.

## Литература

Дружкова Е. И. Пространственная организация сообщества нанопланктона фьордов Западного Шпицбергена // Глобальные климатические изменения и их влияние на экосистемы арктических и субарктических регионов: Тез. докл. Междунар. науч. конф. (г. Мурманск, 10–11 ноября 2011 г.). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2011. С. 54–56.

*Особенности организации пелагиали в районе архипелага Земля Франца-Иосифа в летний период / И. В. Берченко, Е. И. Дружкова, А. А. Олейник и др. // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2014. Сер. Океанология. Вып. 2. Т. 4(23). С. 112–150.*

*Alexander V., Niebauer H. J. Oceanography of the Eastern Bering Sea ice-edge zone in spring // Limnol. Oceanogr. 1981. Vol. 26. P. 1111–1125.*

*Arctic and Antarctic sea ice, 1978–1987. Satellite passes: Microwave observations and analysis / P. Gloersen, W. J. Campbell, D. J. Cavalieri et al. // Scientific and Technical Program NASA. Washington, 1992. 290 p.*

*Bloom dynamics in early opening waters of the Arctic Ocean / J. Tremblay, C. Michel, K. Hobson et al. // Limnol. Oceanogr. 2006. Vol. 51. P. 900–912.*

*Caron D. A. Technique for enumeration of heterotrophic and phototrophic nanoplakton, using epifluorescence microscopy, and comparison with other procedures // Applied and Environmental Microbiology. 1983. Vol. 46. P. 491–498.*

*Cushing D. H. On the nature of production in the sea // Fish Invest Lond. Ser II. 1959. Vol. 22. P. 1–40.*

*Druzhdov N. V., Larionov V. V., Makarevich P. R. Role of autotrophic nanoplankton in the coastal phytoplankton community // Phytoplankton of the Barents Sea. Apatity: Publ. KSC RAN, 1992. P. 97–103.*

*Durand M. D., Olson R. J. Contributions of phytoplankton light scattering and cell concentration changes to diel variations in beam attenuation in the equatorial Pacific from flow cytometric measurements of pico-, ultra- and nanoplankton // Deep-Sea Res. Pt. II. 1996. Vol. 43. P. 891–906.*

*Environmental-control and potential fate of size-fractionated phytoplankton production in the Greenland Sea (75° N) / L. Legendre, M. Gosselin, H. J. Hirche et al. // Marine Ecology – Progress Series. 1993. Vol. 98. P. 297–313.*

*Food webs and carbon flux in the Barents Sea / P. Wassmann, M. Reigstad, T. Haug et al. // Prog. Oceanogr. 2006. Vol. 71. P. 232–287.*

*Grazing of phytoplankton by microzooplankton in the Barents Sea during early summer / P. G. Verity, P. Wassmann, M. E. Frischer et al. // J. Marine Systems. 2002. Vol. 38. P. 109–123.*

*Hegseth E. N., Sundfford A. Intrusion and blooming of Atlantic phytoplankton species in the high Arctic // J. Marine Systems. 2008. Vol. 74. P. 108–119.*

*Hill V., Cota G. F., Stockwell D. Spring and summer phytoplankton communities in the Chukchi and Eastern Beaufort Seas // Deep-Sea Res. Pt. II. 2005. № 52. P. 3369–3385.*

*Hodal H. Primary production and the relevance of small autotrophic and heterotrophic cells in marine arctic ecosystems: A dissertation for the degree of Philosophiae Doctor. University of Tromsø, 2011, 65 p.*

*Hodal H., Kristiansen S. The importance of small-celled phytoplankton in spring blooms at the marginal ice zone in the northern Barents Sea // Deep-Sea Res. Pt. II. 2008. № 55. P. 2176–2185.*

*Luchetta A., Lipizer M., Socal G. Temporal evolution of primary production in the central Barents Sea // J. Marine Systems. 2000. Vol. 27. P. 177–193.*

*Magnitude of mesozooplankton variability: a case study from the marginal ice zone of the Barents Sea in spring / K. Blachowiak-Samolyk, S. Kwasniewski, H. Hop, S. Falk-Petersen // J. Plankton Res. 2008. Vol. 30, № 3. P. 311–323.*

- Near-ubiquity of ice-edge blooms in the Arctic* / M. Perrette, A. Yool, G. D. Quartly, E. E. Popova // *Biogeosciences*. 2011. Vol. 8, № 2. P. 515–524.
- New production in the Northeast Water Polynya: 1993* / W. O. Smith, M. Gosselin, L. Legendre et al. // *J. Marine Systems*. 1997. Vol. 10. P. 199–209.
- Niebauer H. J., Alexander V., Henrichs S. M.* A time-series study of the spring bloom at the Bering Sea ice edge I. Physical processes, chlorophyll and nutrient chemistry // *Cont. Shelf Res.* 1995. Vol. 15. P. 1859–1877.
- Physical and ecological processes in the marginal ice zone of the northern Barents Sea during the summer melt period* / S. Falk-Petersen, H. Hop, W. P. Budgell et al. // *J. Marine Systems*. 2000. Vol. 27. P. 131–159.
- Phytoplankton biomass and productivity in the marginal ice zone of the Fram Strait during the summer of 1984* / W. O. Smith, M. E. Baumann, J. D. L. Wilson, L. Aletsee // *J. Geophys. Res.* 1987. Vol. 92. P. 6777–6786.
- Phytoplankton biomass, production and potential export in the north water* / B. Klein, B. LeBlanc, Z.-P. Mei et al. // *Deep-Sea Res. Pt. II*. 2002. № 49. P. 4983–5002.
- Phytoplankton of the western Arctic in the spring and summer of 2002: Structure and seasonal changes* / I. N. Sukhanova, M. V. Flint, L. A. Pautova et al. // *Deep-Sea Res. Pt. II*. 2009. № 56. P. 1223–1236.
- Plankton distribution and the impact of copepod grazing on primary production in Fram Strait, Greenland Sea* / H. J. Hirche, M. E. M. Baumann, G. Kattner, R. Gradinger // *J. Marine Systems*. 1991. Vol. 2. P. 477–494.
- Rat'kova T., Wassmann P.* Seasonal variation and spatial distribution of phyto- and protozooplankton in the central Barents Sea // *J. Marine Systems*. 2002. Vol. 38. P. 47–75.
- Ryther J. H.* Photosynthesis and Fish Production in the Sea. Production of Organic Matter and Its Conversion to Higher Forms of Life Vary throughout the World Ocean // *Scienc.* 1969. Vol. 166, № 1. P. 72–76.
- Sakshaug E.* Biomass and productivity distributions and their variability in the Barents Sea // *ICES J. Mar. Sci.* 1997. Vol. 54. P. 341–350.
- Sakshaug E.* Primary and secondary production in the Arctic Seas // *The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean* / R. Stein, R. W. Macdonald (Eds.). Berlin, Heidelberg: Springer, 2004. P. 57–81.
- Sakshaug E., Skjoldal H. R.* Life at the ice edge // *Ambio*. 1989. Vol. 18. P. 60–67.
- Seasonal variation in vertical flux of biogenic matter in the marginal ice zone and the central Barents Sea* / K. Olli, C. W. Riser, P. Wassmann et al. // *J. Marine Systems*. 2002. Vol. 38. P. 189–204.
- Size-differential regimes of phytoplankton production in the Northeast Water Polynya (77–81° N)* / S. Pesant, L. Legendre, M. Gosselin et al. // *Marine Ecology–Progress Series*. 1996. Vol. 142. P. 75–86.
- Smith W. O., Nelson D. M.* Phytoplankton bloom produced by a receding ice edge in the Ross Sea: spatial coherence with the density field // *Science*. 1985. Vol. 227. P. 163–166.
- Spatial variability of chlorophyll-a in the marginal ice zone of the Barents Sea, with relations to sea ice and oceanographic conditions* / O. Engelsen, E. N. Hegseth, H. Hop et al. // *J. Marine Systems*. 2002. Vol. 35. P. 79–97.
- Spring bloom development in the marginal ice zone and the central Barents Sea* / P. Wassmann, T. N. Rat'kova, I. J. Andreassen et al. // *P.S.Z.N. I. Mar. Ecol.* 1999. Vol. 20, № 3–4. P. 321–346.

*Strass V. H., Nöthig E.-M.* Seasonal shifts in ice edge phytoplankton blooms in the Barents Sea related to the water column stability // *Polar Biol.* 1996. Vol. 16. P. 409–422.

*Sverdrup H.* On conditions for the vernal blooming of phytoplankton // *J. Cons. Int. Explor Mer.* 1953. Vol. 18. P. 287–295.

*Vinje T., Kvambekk A. S.* Barents Sea drift ice characteristics // *Polar Res.* 1991. Vol. 10(1). P. 59–68.

*Winter-spring* transition in the subarctic Atlantic: microbial response to deep mixing and pre-bloom production / M. L. Paulsen, K. Riisgaard, T. F. Thingstad et al. // *Aquat. Microb. Ecol.* 2015. Vol. 76. P. 49–69.

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2018-9-4-44-61

УДК 574.583, 579.26, 578.4 (268.45)

**Т. И. Широколобова, М. П. Венгер, М. А. Болтенкова, В. В. Водопьянова,  
О. П. Калинка, Т. М. Максимовская, А. В. Дерябин, А. В. Ващенко**  
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ХЛОРОФИЛЛА, БАКТЕРИЙ И ВИРУСОВ В ВОДАХ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

### **Аннотация**

В поверхностных водах северо-западной части Баренцева моря летом 2017 г. изучена изменчивость концентраций хлорофилла *a*, вирио- и бактериопланктона. Проведено сравнение с результатами аналогичных наблюдений на северо-востоке моря весной 2016 г. С использованием данных натурных и спутниковых измерений определен трофический статус двух акваторий.

### **Ключевые слова:**

хлорофилл, вирио- и бактериопланктон, Баренцево море.

**T. I. Shirokolobova, M. P. Venger, M. A. Boltenkova, V. V. Vodopyanova,  
O. P. Kalinka, T. M. Maksimovskaya, A. V. Deryabin, A. V. Vashchenko**  
Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia

## **RESEARCH OF CHLOROPHYLL, BACTERIA AND VIRUSES IN WATERS OF THE NORTHERN REGIONS BARENTS SEA**

### **Annotation**

The variability of chlorophyll *a*, viro- and bacterioplankton concentrations was studied in the surface waters of the North-Western part of the Barents Sea in summer 2017. A comparison with the results of similar observations in the North-East part of the sea in spring of 2016 was made. The trophic status of these two areas was determined using the field data and satellite measurements.

### **Keywords:**

chlorophyll, viro- and bacterioplankton, the Barents Sea.



**Введение.** Значительная сезонность в уровнях инсоляции и длительное существование устойчивого ледового покрова являются факторами, ограничивающими уровень продуктивности в высоких широтах. В арктической зоне Баренцева моря годовое количество солнечной энергии не превышает 60 ккал/см<sup>2</sup>, тогда как его величина у полярного круга составляет 70 ккал/см<sup>2</sup>. По окончании полярной ночи в феврале–марте приток радиации начинает возрастать, достигая максимальных значений в мае–июне (Гаврилова, 1963). В районе 75–80° с. ш., при часто наблюдаемой сплошной облачности и относительно малых высотах Солнца (15–10 град. в марте и 39–34 град. в июне) его суммарная радиация, достигающая водной поверхности, остается низкой. Период вегетации фитопланктона здесь не превышает 2–3 мес. и является менее продолжительным, чем в южнее расположенных районах моря (5–6 мес.) (Гидрометеорология ..., 1992; Кузнецов, 2003).

Усиление инсоляции и атмосферный прогрев в значительной степени способствуют разрушению сезонного льда, при таянии которого создаются условия, необходимые для формирования центров цветения фитопланктона и, как следствие, первичной биологической продуктивности. Значительные объемы вновь синтезируемого органического вещества в зону тающей ледовой кромки также поставляют ледовые альгоценозы (Schubert, Calvert, 2001; Макаревич, 2012).

Состояние ледового покрова и связанные с ним экологические процессы напрямую зависят от климатических флуктуаций. Наиболее заметной реакцией на современное потепление служит сокращение площади сезонных льдов (Serreze et al., 2007). По данным искусственных спутников Земли, в зимний период открытые воды могут занимать значительную часть Баренцева моря и простираться до северной оконечности арх. Новая Земля.

Исследования процессов продуцирования и захоронения органического вещества в донных отложениях с 1998 по 2006 гг. выявили увеличение их интенсивности в арктических морях, что также рассматривается как отклик пелагических экосистем на происходящие климатические изменения (Ветров, Романкевич, 2008). По данным авторов, сокращение ледового покрова ведет к росту годовой продукции фитопланктона, параллельно снижая продукцию криофлоры. Результаты дистанционного зондирования 2003–2008 гг. показали, что в Баренцевом море годовая продукция фитопланктона возрастала на 5.4 %, а продукция криофлоры снижалась на 23 % (Ветров, Романкевич, 2011).

Первичная продукция в виде взвешенного и растворенного органического вещества составляет энергетический запас, необходимый для последующих звеньев пищевой сети. В частности, бактериопланктон на конструктивный и энергетический обмен может использовать от 40 до 80 % синтезируемого микроводорослями органического углерода

(Whitman et al., 1998; Ducklow, 1999). Дополнительный вклад в пул его растворимых форм вносят процессы вирусного лизиса (Incorporation ..., 1992; Suttle 2005), экскреции и фаготрофии (Roy et al., 1989; Nagata, Kirchman, 1991; Møller, 2007).

Используя растворенное органическое вещество, микроорганизмы через микробную пищевую сеть, так называемую “микробную петлю”, осуществляют передачу энергии на вышестоящие трофические уровни (The ecological ..., 1983). Этим процессам отводится главная роль в низкопродуктивных зонах, тогда как в высокопродуктивных – она переходит к классической пастбищной цепи (Simon et al., 1992). К сожалению, пока недостаточно натуральных данных, позволяющих дать количественную оценку важности “микробной петли” для планктонных сообществ Баренцева моря (Productivity ..., 2014), северные акватории которого возвращаются к олиго- и ультраолиготрофному статусу после цветения фитопланктона (Планктон ..., 1997; Химические ..., 1997).

Актуальность проведения наших исследований обусловлена слабой изученностью продукционных показателей, микробных сообществ и вириопланктона, регулирующего численность альго- и бактериоценозов в пелагиали высокоширотных районов моря.

Цель работы – определить концентрации хлорофилла, вирусов и бактерий в поверхностных водах северо-западной части Баренцева моря летом; сравнить с результатами аналогичных наблюдений, выполненных на северо-востоке водоема весной; выявить закономерности пространственной изменчивости компонентов планктона; оценить трофический статус исследованных акваторий по данным натуральных и дистанционных наблюдений.

**Материал и методы.** Отбор проб морской воды проводили с 16 по 18 июля 2017 г. в северо-западной части Баренцева моря с борта НИС “Дальние Зеленцы” на 8 станциях (рис. 1).

В пробах определяли содержание хлорофилла *a*, количество вирусных частиц и бактериальных клеток. Термохалинные характеристики среды были получены с помощью профилографа SEACAT SBE 19plus.

Содержание хлорофилла *a* в ацетоновых экстрактах (до и после их подкисления соляной кислотой) измеряли на спектрофотометре Nicolett Evolution 500. Расчеты выполняли по стандартным формулам (Вода ..., 2001). Из концентрации основного фитопигмента в пробах косвенно устанавливали величину первичной продукции по уравнению В. Е. Шемшура с соавторами (Оценка ..., 1990)

$$\lg P_0 = 1.56 + 0.92 \lg C_0,$$

где  $P_0$  – первичная продукция, мг С/м<sup>3</sup> в сутки;  $C_0$  – концентрация хлорофилла *a*, мг/м<sup>3</sup>.

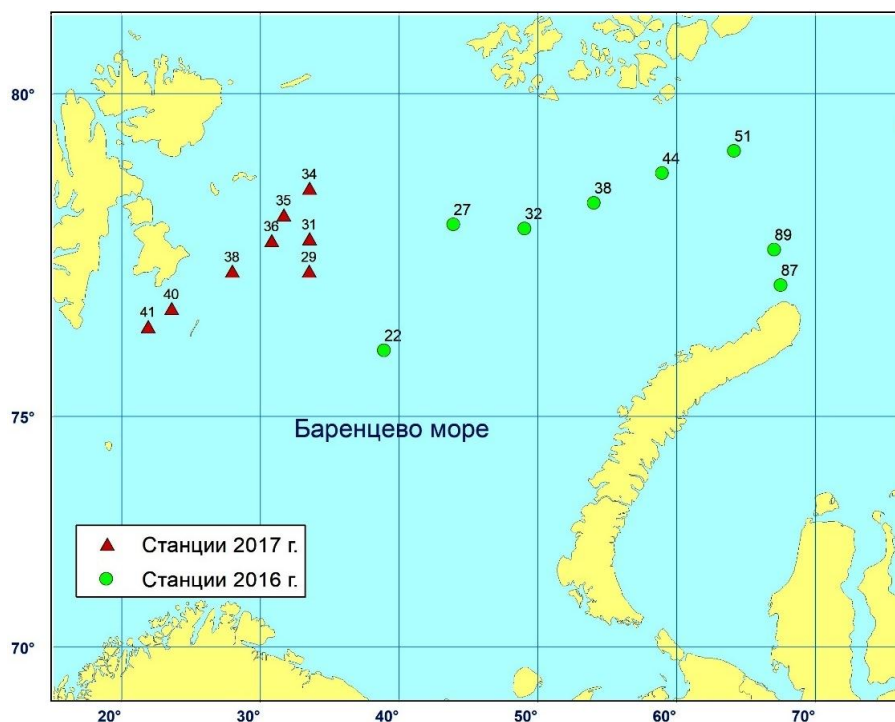


Рис. 1. Карта-схема станций, выполненных в северной части Баренцева моря весной 2016 г. и летом 2017 г.

Fig. 1. Map-scheme of the sampling in the northern part of Barents Sea in spring 2016 and summer 2017

При анализе содержания хлорофилла *a* в поверхностных водах Баренцева моря дополнительно привлекали данные дистанционного зондирования (спектрорадиометр MODIS, спутник AQUA) с пространственным разрешением сканера цвета  $1 \times 1$  км в даты выполнения подспутниковых измерений.

Количественные определения вирио- и бактериопланктона проводили под эпифлуоресцентным микроскопом Olympus BX51 с системой анализа изображений при ув. 1000. Вирусные частицы учитывали на фильтрах Anodisc “Wathman” с диаметром пор 0.02 мкм, бактериальные клетки – на фильтрах ОИЯИ (г. Дубна) с диаметром пор 0.2 мкм, используя флуорохромные красители SYBR Green I (Noble, Fuhrman, 1999) и DAPI (Porter, Feig, 1980) соответственно.

Для сравнительного анализа компонентов планктона использовали результаты весенней съемки, выполненной 14–25 апреля (станции 22, 27, 32, 38, 44 и 51) и 13–14 мая (станции 87 и 89) в северо-восточной части Баренцева моря в 2016 г. (рис. 1).

В статистической обработке результатов применяли стандартный пакет программ Microsoft Excel и U-критерий Манна-Уитни (при  $p < 0.05$ ).

**Результаты.** В июле 2017 г. температура верхней части фотического слоя на северо-западе Баренцева моря изменялась от  $-1.40$  до  $4.55$  °C, соленость – от 31.45 до 34.38 ‰. На большей части акватории воды имели арктическое происхождение. Исключение составил участок смешанных вод фронтальной зоны (ст. 41), где значения термохалинных характеристик были максимальными. Их минимальные величины регистрировали в зоне дрейфующих льдов – станции 34, 35, 36 (табл. 1).

Таблица 1

**Температура (T, °C), соленость (S, ‰), концентрация хлорофилла *a* (Chl, мг/м<sup>3</sup>) и первичная продукция (P<sub>0</sub>, мг C/м<sup>3</sup> в сутки) в поверхностных водах северо-западной части Баренцева моря летом 2017 г.**

Table 1

**Temperature (T, °C), salinity (S, ‰), chlorophyll *a* concentration (Chl, mg/m<sup>3</sup>) and primary production (P<sub>0</sub>, mg C/m<sup>3</sup>/day) in surface waters of the north-western part of the Barents Sea in summer 2017**

Станция	Координаты		T	S	BM	Chl*	Chl**	P <sub>0</sub>
	с. ш.	в. д.						
29	77°30'	33°29'	2.39	33.99	Арк	0.27–0.28	0.33	13.09
31	78°00'	33°33'	1.96	32.61	Арк	0.43–0.44	0.26	10.51
34	78°45'	33°30'	-1.40	32.23	Арк	0.85–0.88	1.51	53.05
35	78°22'	33°34'	-0.26	31.56	Арк	0.39–0.40	0.26	10.51
36	77°58'	30°46'	-0.69	31.45	Арк	–	0.48	18.48
38	77°30'	26°59'	2.09	32.13	Арк	0.31–0.32	0.29	11.63
40	76°54'	23°36'	3.30	33.87	Арк	0.47–0.48	0.57	21.65
41	76°36'	21°55'	4.55	34.38	ФЗ	0.26	0.51	19.54

\* Спутниковые измерения.

\*\* Натурные подспутниковые измерения.

ПРИМЕЧАНИЕ. BM – водная масса: арктическая (Арк), фронтальная зона (ФЗ); прочерк – данные отсутствуют.

Концентрация хлорофилла *a*, при ее максимальной величине  $1.51$  мг/м<sup>3</sup> в зоне ледовой кромки, в среднем по акватории составляла  $0.53$  мг/м<sup>3</sup>. Повышенные средние значения характеризовали не только область наиболее холодных ( $0.75$  мг/м<sup>3</sup>), но и наиболее теплых ( $0.54$  мг/м<sup>3</sup>) вод (табл. 1). Содержание пигмента в поверхностных водах при натурных измерениях большей частью превосходило таковое при дистанционном зондировании (от 1.2 до 2 раз).

Численность и биомасса бактериопланктона изменялась в диапазоне  $(0.24–1.17) \cdot 10^6$  кл/мл и  $15.30–89.29$  мг/м<sup>3</sup>, соответственно. Минимальные величины показателей зарегистрированы на ст. 29, максимальные – на ст. 40. Средняя численность ( $0.99 \cdot 10^6$  кл/мл) и биомасса ( $65.89$  мг/м<sup>3</sup>) в наиболее

прогретых водах превышали значения в водах с отрицательными температурами ( $0.45 \cdot 10^6$  кл/мл и  $26.37$  мг/м<sup>3</sup> соответственно).

Обилие вириопланктона, составляя в среднем  $3.11 \cdot 10^6$  частиц/мл, изменялось от  $1.51 \cdot 10^6$  частиц/мл (ст. 38) до  $4.94 \cdot 10^6$  частиц/мл (ст. 35). Средние значения показателя в водах с положительными и отрицательными температурами не отличались. Численность вирусов превышала таковую бактерий ( $N_{vir}/N_{bak}$ ) от 3 до 15 раз (среднее 7).

В апреле 2016 г. наблюдения на северо-востоке Баренцева моря выполнялись в арктических водах, в мае – в арктических и трансформированных атлантических. Исследуемую акваторию занимали дрейфующие льды. Воды поверхностного слоя характеризовались повышенной соленостью – 34.45–34.93 ‰. Их температура имела положительные значения лишь на ст. 87 (табл. 2).

Таблица 2

**Температура (Т, °С), соленость (S, ‰), концентрация хлорофилла *a* (Chl, мг/м<sup>3</sup>) и первичная продукция (P<sub>0</sub>, мг С/м<sup>3</sup> в сутки) в поверхностных водах северо-восточной части Баренцева моря весной 2016 г.**

Table 2

**Temperature (T, °C), salinity (S, ‰), chlorophyll *a* concentration (Chl, mg/m<sup>3</sup>) and primary production (P<sub>0</sub>, mg C/m<sup>3</sup>/day) in surface waters of the north-eastern part of the Barents Sea in spring 2017**

Станция	Координаты		Т	S	ВМ	Chl*	Chl**	P <sub>0</sub>
	с. ш.	в. д.						
22	76°12'	38°57'	-1.20	34.54	Арк	Н/д	0.93	33.96
27	78°13'	43°56'	-1.24	34.70	Арк	0.12	0.34	13.46
32	78°09'	49°04'	-1.48	34.75	Арк	0.27–0.28	0.36	14.18
38	78°32'	54°04'	-1.83	34.75	Арк	0.18–0.19	0.49	18.44
44	78°57'	58°59'	-1.81	34.64	Арк	0.56–0.57	0.77	28.55
51	79°15'	64°11'	-1.68	34.45	Арк	Н/д	0.70	26.15
87	77°17.0'	67°30.1'	0.47	34.93	АтлГр	0.88–0.91	2.05	70.28
89	77°50.0'	67°02.5'	-1.29	34.56	Арк	4.07–4.19	5.56	175.98

\*Спутниковые измерения.

\*\*Натурные подспутниковые измерения.

ПРИМЕЧАНИЕ. ВМ – водная масса: арктическая (Арк), атлантическая трансформированная (АтлГр); прочерк – данные отсутствуют.

Концентрация хлорофилла *a* в апреле варьировала от 0.34 до 0.93 мг/м<sup>3</sup> (среднее – 0.60 мг/м<sup>3</sup>). В мае ее диапазон составил 2.05–5.56 мг/м<sup>3</sup> (среднее – 3.81 мг/м<sup>3</sup>). По данным спутниковых измерений, содержание основного фитопигмента в районе станций (0.12–4.19 мг/м<sup>3</sup>) было ниже, чем в исследованиях, полученных нами для весеннего периода.

Численность бактериопланктона в апреле изменялась от  $0.15 \cdot 10^6$  до  $0.27 \cdot 10^6$  кл/мл (среднее –  $0.20 \cdot 10^6$  кл/мл), биомасса – от 5.6 до  $18.20 \text{ мг/м}^3$  (среднее –  $10.58 \text{ мг/м}^3$ ), в мае – от  $0.87 \cdot 10^6$  до  $0.89 \cdot 10^6$  кл/мл (среднее –  $0.88 \cdot 10^6$  кл/мл) и от 62.46 до  $112.78 \text{ мг/м}^3$  (среднее –  $87.62 \text{ мг/м}^3$ ) соответственно.

Обилие вириопланктона в апреле находилось в диапазоне  $(1.52\text{--}3.76) \cdot 10^6$  частиц/мл (среднее –  $2.92 \cdot 10^6$  частиц/мл) и превышало обилие бактериопланктона от 8 до 20 раз (среднее – 15). Максимальные значения показателя  $N_{\text{vir}}/N_{\text{bak}}$  характеризовали воды станций 20 и 32 с максимальной концентрацией вирусных частиц и минимальной бактериальной биомассой.

**Обсуждение.** Район проведения гидробиологических работ в 2016 и 2017 гг. располагался между  $76^\circ$  и  $79^\circ$  с. ш. и относился к арктической географической зоне (Моргунов, 2005). Весной его восточную часть занимали поля молодых и однолетних льдов. Летом в западной части района встречались молодые льды и айсберги. По данным искусственных спутников Земли, при сохраняющейся в XXI веке устойчивой тенденции уменьшения площади ледового покрова, показатель его уровня был наиболее низким в 2016 и 2017 гг. (Onarheim, Arthum, 2017). На рисунках 2 и 3 приведены обобщенные в ЦЛГМИ (ГНЦ РФ ААНИИ) карты ледовой обстановки, показывающие границы ледовой кромки в периоды, соответствующие срокам выполненных нами наблюдений.

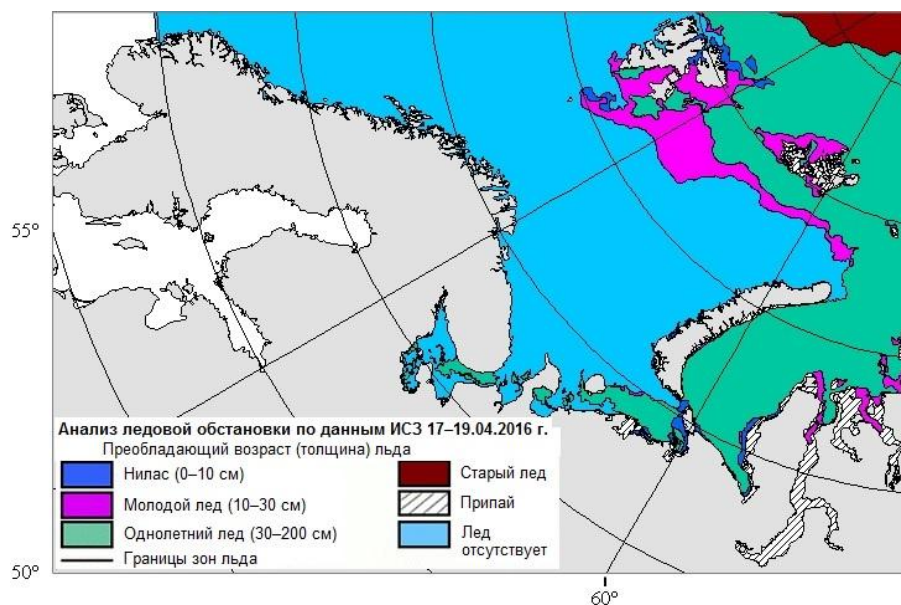


Рис. 2. Расположение ледовой кромки Баренцева моря во второй декаде апреля 2016 г. ([http://www.aari.ru/odata/\\_d0015.php?lang=0&mod=0&yy=2016](http://www.aari.ru/odata/_d0015.php?lang=0&mod=0&yy=2016))

Fig. 2. The ice edge position in the Barents Sea in the second decade of April 2016 ([http://www.aari.ru/odata/\\_d0015.php?lang=0&mod=0&yy=2016](http://www.aari.ru/odata/_d0015.php?lang=0&mod=0&yy=2016))

Географическое положение исследуемых акваторий определяло время наступления полярного дня (19 апреля на 78° с. ш. и 25 апреля на 76° с. ш.) и значения суммарной солнечной радиации. На широте 77–80° в апреле поверхности достигает 12–14 ккал/см<sup>2</sup> (Гаврилова, 1963). Данная величина (в пересчете на сутки – 200–233 ккал/см<sup>2</sup>) уже превысила величину “запуска” активной вегетации фитопланктона в южных районах моря (150–200 ккал/см<sup>2</sup>/сут.; Кузнецов, 1991).

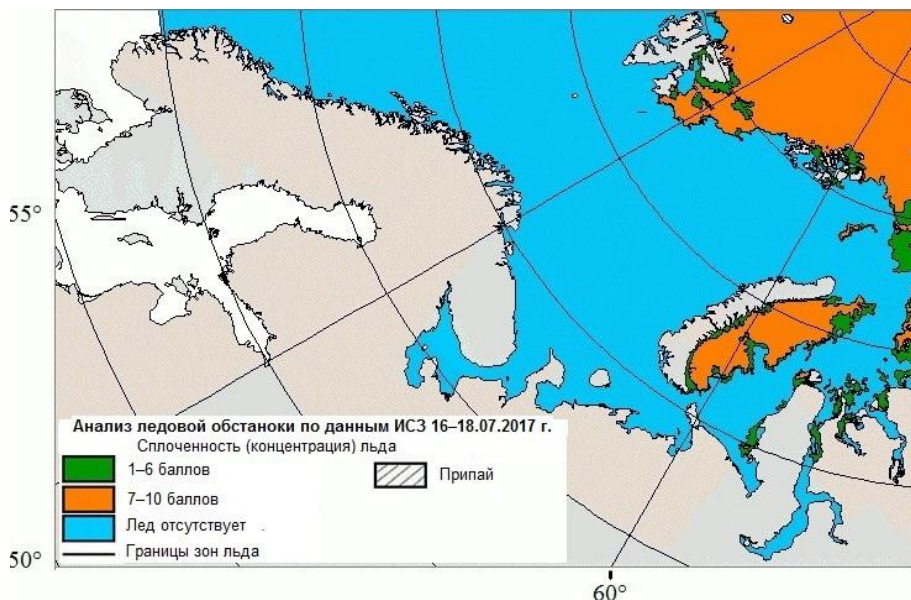


Рис. 3. Расположение ледовой кромки Баренцева моря во второй декаде июля 2017 г. ([http://www.aari.ru/odata/\\_d0015.php?lang=0&mod=0&yy=2017](http://www.aari.ru/odata/_d0015.php?lang=0&mod=0&yy=2017))

Fig. 3. The ice edge position in the Barents Sea in the second decade of July 2017 ([http://www.aari.ru/odata/\\_d0015.php?lang=0&mod=0&yy=2017](http://www.aari.ru/odata/_d0015.php?lang=0&mod=0&yy=2017))

В наших наблюдениях ряд показателей свидетельствовал о предвесеннем состоянии сообщества планктонных водорослей. Их биомасса в слое 0–10 м была менее 100 мкг/л (Макаревич, Олейник, 2017), концентрация хлорофилла – менее 1 мг/м<sup>3</sup>. При низком обилии планктонных и ледовых водорослей (Макаревич, Олейник, 2017) значения параметров могли определяться присутствием автотрофного нанопланктона, доминирующего в сообществе эукариот в период перехода к автотрофной фазе функционирования экосистем пелагиали (Microbial ..., 2011). На фоне регистрируемых показателей концентрация растворенного кислорода (7.6–8.2 мл/л) и степень насыщения (< 100 %) им верхней части водного слоя (Бактериопланктон ..., 2017) не достигали уровня, фиксируемого при цветении (Норина, 1965; Гидрометеорология ..., 1992). Состояние “предцветения” в районе ледовой кромки иллюстрирует спутниковый снимок, позволяющий судить о масштабах этого явления во II декаде апреля (рис. 4).



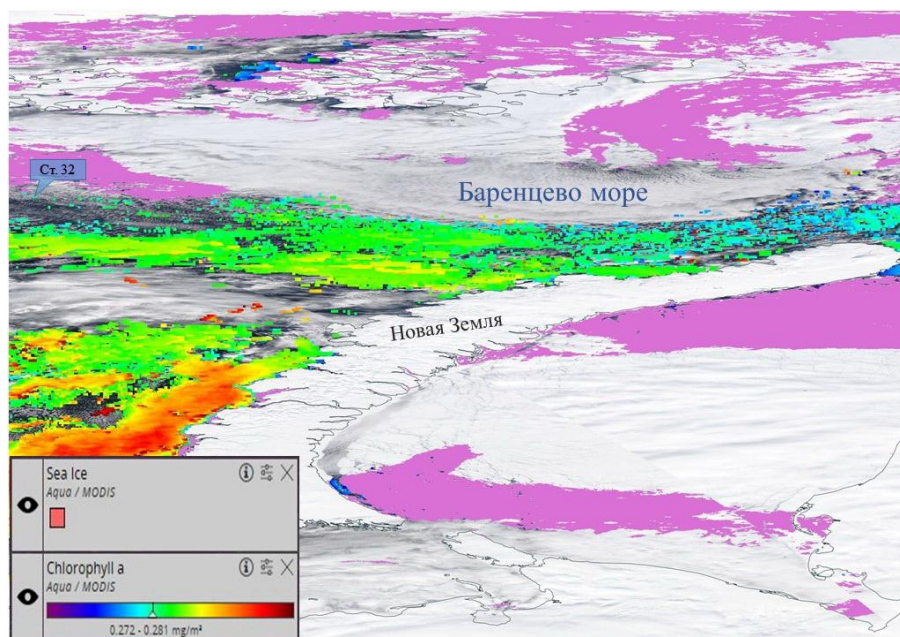


Рис. 4. Спутниковые данные поверхностных концентраций хлорофилла *a* 17.04.2016 г. на ст. 32. Ледовые поля в просветах облаков выделены розовым цветом ([https://worldview.earthdata.nasa.gov/?p=geographic&l=MODIS\\_Aqua\\_Chlorophyll\\_A](https://worldview.earthdata.nasa.gov/?p=geographic&l=MODIS_Aqua_Chlorophyll_A))

Fig. 4. Satellite data of surface chlorophyll *a* concentration 17.04.2016 in the station 32. Ice fields in the gaps of the clouds are highlighted in pink ([https://worldview.earthdata.nasa.gov/?p=geographic&l=MODIS\\_Aqua\\_Chlorophyll\\_A](https://worldview.earthdata.nasa.gov/?p=geographic&l=MODIS_Aqua_Chlorophyll_A))

Обстановка резко изменилась спустя три недели, и уже в начале второй декады мая на северо-востоке цветением была охвачена значительная площадь моря (рис. 5). От апреля к маю, при увеличении суммарной солнечной радиации до 14–15 ккал/см<sup>2</sup> в месяц (452–484 ккал/см<sup>2</sup> в сутки) (Гаврилова, 1963), содержание хлорофилла возросло на порядок величин.

Максимум концентрации выявлен на участке с отрицательной температурой воды и интенсивным развитием диатомовых (*Chaetoceros socialis*, *Thalassiosira gravida*) и золотистых (*Phaeocystis pouchetii*) водорослей. Трофический статус акватории, оцениваемый по В. И. Ведерникову (1975), изменился с олиготрофного на эвтрофный по данным спутниковых измерений и с олиготрофного на мезотрофно-эвтрофный, согласно нашим подспутниковым измерениям. Рассчитанная из концентраций хлорофилла *a* первичная продукция в сутки в среднем составила 22.46 мг С/м<sup>3</sup> в апреле и 123.13 мг С/м<sup>3</sup> в мае. Ее значения оказались близки величинам, полученным в эти месяцы в прибрежной (21.4–218.6 мг С/м<sup>3</sup> в сутки; Роухияйнен, 1961) и центральной части Баренцева моря (46–104 мг С/м<sup>3</sup> в сутки; Кузнецов, 2003).

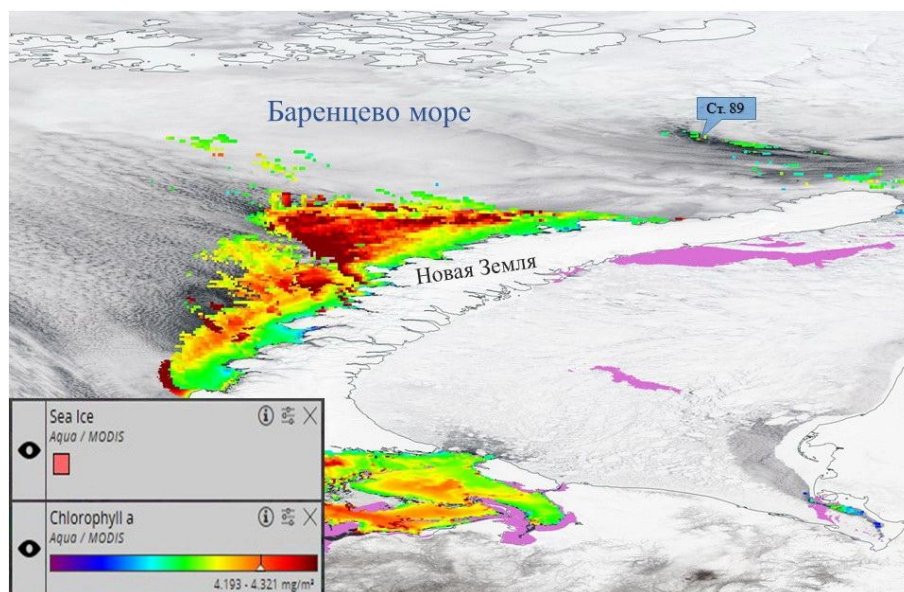


Рис. 5. Спутниковые данные поверхностных концентраций хлорофилла *a* 14.05.2016 г. на ст. 89. Участки ледовых полей в просветах облаков выделены розовым цветом ([https://worldview.earthdata.nasa.gov/?p=geographic&l=MODIS\\_Aqua\\_Chlorophyll\\_A](https://worldview.earthdata.nasa.gov/?p=geographic&l=MODIS_Aqua_Chlorophyll_A))

Fig. 5. Satellite data of surface chlorophyll *a* concentration 14.05.2016 in the station 89. Ice fields in the gaps of the clouds are highlighted in pink ([https://worldview.earthdata.nasa.gov/?p=geographic&l=MODIS\\_Aqua\\_Chlorophyll\\_A](https://worldview.earthdata.nasa.gov/?p=geographic&l=MODIS_Aqua_Chlorophyll_A))

К лету под влиянием притока тепла экологическая ситуация в арктической зоне закономерно изменялась. Суммарная солнечная радиация, достигая в июне наиболее высоких показателей, снижается в июле из-за повышенной облачности до  $10 \text{ ккал/см}^2$  (Гаврилова, 1963), ее суточные величины составили  $323 \text{ ккал/см}^2$ . Воздух над большей частью акватории устойчиво сохраняет положительную температуру (Гидрометеорология ..., 1990). Таяние льда и распреснение способствовали формированию мощного пикноклина, в зоне которого летом отмечают подповерхностный максимум содержания хлорофилла *a* (Савинов, 1990; Вирусы ..., 2012) и микроводорослей (в основном *Thalassiosira* spp. и *P. pouchetii*) (Makarevich et al., 2012).

Картина летнего распределения хлорофилла на северо-западе была менее яркой в сравнении с весенним периодом на северо-востоке моря (рис. 6).

Содержание основного фотосинтетического пигмента в поверхностных водах варьировало в июле в довольно узких пределах. Исключение составил локальный пик значений, соответствующий уровню цветения и приуроченный к ледовому участку с наиболее низкой температурой воды. Выявленная повышенная активность планктонных альгоценозов предполагала наличие в их составе видов доминантов

периода майского цветения. В распресненном поверхностном слое южнее (на 45–75 миль) прикромочной зоны и западнее (на 70–120 миль и более) от нее регистрировали пониженное содержание хлорофилла, характерное для завершающей фазы развития альгоценозов в северных акваториях (Планктон ..., 1997). Его концентрации были ниже, чем в апреле 2016 г. и укладывались в диапазон летних величин в прибрежной (Ведерников, Соловьева, 1972) и северной части моря (Среда..., 1994). Значения показателя соответствовали водам олиготрофного типа как в спутниковых, так и в натуральных наблюдениях. Согласно нашим данным, статус вод повышался до мезотрофного уровня лишь в зоне цветения. Первичная продукция в полях дрейфующего льда в сутки в среднем составляла 27.35 мг С/м<sup>3</sup>, к югу и западу от него показатели снижались – 17.61 и 11.80 мг С/м<sup>3</sup> соответственно. Сопоставимые диапазоны продукции фитопланктона были получены в июне–июле в области полярного фронта в Баренцевом море – 13.3–26.6 мг С/м<sup>3</sup> в сутки (Luchetta et al., 2000).

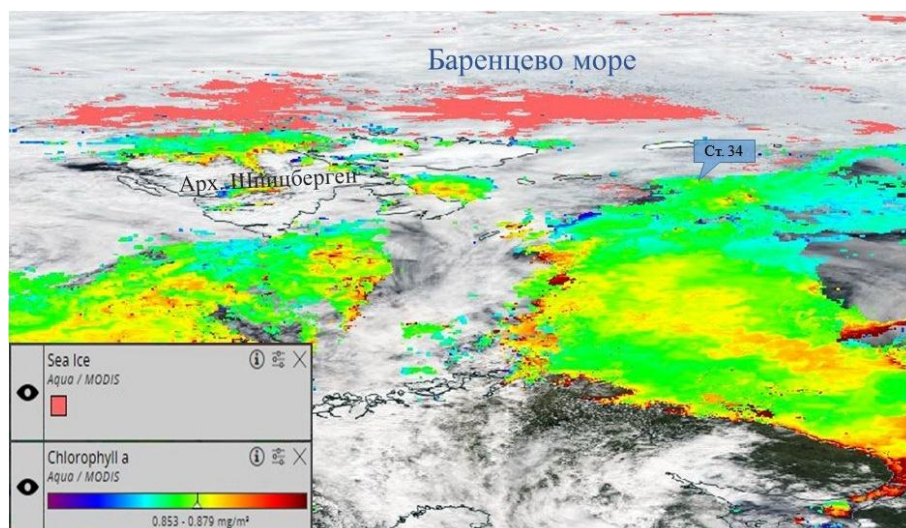


Рис. 6. Спутниковые данные поверхностных концентраций хлорофилла *a* 17.07.2017 г. на ст. 34. Ледовые поля в просветах облаков выделены коралловым цветом ([https://worldview.earthdata.nasa.gov/?p=geographic&l=MODIS\\_Aqua\\_Chlorophyll\\_A](https://worldview.earthdata.nasa.gov/?p=geographic&l=MODIS_Aqua_Chlorophyll_A))

Fig. 6. Satellite data of surface chlorophyll *a* concentration 17.07.2017 in the station 34. Ice fields in the gaps of the clouds are highlighted in coral ([https://worldview.earthdata.nasa.gov/?p=geographic&l=MODIS\\_Aqua\\_Chlorophyll\\_A](https://worldview.earthdata.nasa.gov/?p=geographic&l=MODIS_Aqua_Chlorophyll_A))

Представленные материалы позволяют проследить важные этапы в годовой динамике пелагической экосистемы – от предцветения к цветению и последующему постцветению. Согласно показателям продуктивности, диапазон и средние значения концентрации хлорофилла *a* и первичной продукции закономерно возрастали до максимальных

величин от первого этапа ко второму и снижались до минимальных – к третьему (табл. 3). Олиготрофный статус вод, длительно сохраняемый вне цветения, свидетельствовал о доминировании в верхней части водной толщи деструкционных процессов над продукционными.

Таблица 3

**Концентрация хлорофилла *a* (Chl), численность ( $N_{\text{bak}}$ ) и биомасса ( $B_{\text{bak}}$ ) бактериопланктона, численность вириопланктона ( $N_{\text{vir}}$ ) и соотношение численности вирусов и бактерий ( $N_{\text{vir}}/N_{\text{bak}}$ ) по данным исследований поверхностных вод Баренцева моря весной 2016 г. и летом 2017 г.**

Table 3

**Chlorophyll *a* concentration (Chl, mg/m<sup>3</sup>), abundance ( $N_{\text{bak}}$ ) and biomass ( $B_{\text{bak}}$ ) of bacterioplankton, abundance of virioplankton ( $N_{\text{vir}}$ ) and viruses-bacteria ratio ( $N_{\text{vir}}/N_{\text{bak}}$ ) in surface waters of the Barents Sea in spring 2016 and summer 2017**

Параметр	Этапы развития экосистемы пелагиали		
	предцветение	цветение	постцветение
Chl, мг/м <sup>3</sup>	<u>0.34–0.93</u>	<u>1.51–5.56</u>	<u>0.26–0.57</u>
	0.60	3.04	0.39
P <sub>o</sub> , мг С/м <sup>3</sup> в сутки	<u>13.46–33.96</u>	<u>53.05–175.98</u>	<u>10.51–21.65</u>
	22.46	99.77	15.06
$N_{\text{bak}}$ , млн кл/мл	<u>0.15–0.27</u>	<u>0.52–0.89</u>	<u>0.24–1.17</u>
	0.20	0.76	0.53
$B_{\text{bak}}$ , мкг/м <sup>3</sup>	<u>5.60–18.20</u>	<u>27.05–112.78</u>	<u>15.30–89.29</u>
	10.58	67.43	34.96
$N_{\text{vir}}$ , млн частиц/мл	<u>1.52–3.76</u>	2.37*	<u>1.51–4.94</u>
	2.92		3.21
$N_{\text{vir}}/N_{\text{bak}}$	<u>8–20</u>	5*	<u>3–15</u>
	15		8

\*Единственное измерение.

ПРИМЕЧАНИЕ. Числитель – минимум–максимум, знаменатель – среднее.

Период автотрофного режима функционирования микропланктонных сообществ был наименее продолжительным. Из-за быстрого истощения биогенов в поверхностном распресненном слое цветение в зоне ледовой кромки редко длится более 20 сут. (Near-ubiquity ..., 2011), однако его вклад в годовую первичную продукцию Баренцева моря по некоторым оценкам может быть весьма существенным (Sakshaug, 2004).

В дальнейшем, при исследовании закономерности распределения наиболее массовых компонентов планктона, мы сочли целесообразным объединить натурные данные 2016 и 2017 гг. в соответствии с выделенными в развитии пелагической экосистемы этапами (табл. 3).

Из данных табл. 3 следует, что процессы бурной вегетации и последующего снижения активности альгоценозов отражались на состоянии

бактериальных сообществ, чья низкая численность и биомасса ожидаемо были приурочены к первому из этапов, высокая – ко второму и третьему.

На период цветения приходились наиболее резкие изменения в структуре бактериопланктона, проявляющиеся в значительном увеличении биомассы клеток, обусловленном их крупными размерами. О высоких значениях этого параметра при цветении в зоне ледовой кромки Баренцева моря ранее сообщалось в работе (Hansen et al., 1996). Одной из возможных причин наблюдающегося явления рассматривается уменьшение пресса выедателей, переключившихся на новый пищевой объект – быстрорастущих представителей пикоавтотрофов (Microbial..., 2011).

На большом фактическом материале было установлено, что в пелагиали Баренцева моря зонам свежесинтезированного органического вещества соответствовали локальные максимумы кокковидных бактерий, тогда как зонам с разной степенью его трансформации – максимумы палочковидных форм (Байтаз и др., 1996).

В наших исследованиях, при менее четких различиях в морфологическом составе, основные количественные характеристики сообществ на этапах пред- и постцветения достоверно различались. Минимальные диапазоны значений численности и биомассы в первом из этапов указывали на относительно стабильные условиях существования бактериоценозов. Устойчивость их структуры в олиготрофных водах во многом могла определять способность микроорганизмов не только функционировать в условиях низких концентраций органического вещества, но и использовать в качестве субстрата его трудноусвояемые формы (Sanders et al., 1992).

Известно, что по окончании цветения судьба фотосинтетически закрепленной энергии может быть двоякой (Simon et al., 1992). Ее большая часть в олиготрофных условиях реализуется через микробную пищевую сеть, в эвтрофных – непосредственно направляется к метазоопланктону и рыбам (Geographical ..., 1999).

Возврат экосистемы пелагиали в состояние олиготрофии после цветения сопровождался снижением средних значений численности и биомассы бактериопланктона. Наряду с этим, средние величины его обилия как при цветении, так и после него оставались типичными для уровня развития бактерий в мезотрофных морских водах (Сорокин, 1973). Значительная амплитуда количественных показателей на последнем из этапов отражала неравномерность распределения концентраций лабильного органического вещества в верхней части водной толщи. Величину диапазона также могли определять простейшие, потребляющие летом в условиях активного функционирования микробной петли в 4 раза больше клеток бактерий, чем фитопланктона (Carbon ..., 2010).

Помимо простейших (гетеротрофных флагеллят и инфузорий), к фактору, влияющему на формирование микробных ценозов, относят планктонные вирусы, экология которых в арктических морях изучена



слабо. В исследованиях, выполненных в Баренцевом море сочетанием методов эпифлуоресцентной и электронной микроскопии, отмечено, что севернее 76° с. ш. в поверхностных водах в конце летнего сезона вирусиндуцированная гибель бактериопланктона составляла 4–11 % от общей смертности бактерий в сутки (Влияние ..., 2016).

По результатам моделирования высказано предположение, что при доминировании прессы выедателей основной поток органического углерода направляется на вышестоящие трофические уровни (Wommack, Colwell, 2000), тогда как при главенстве в бактериальной смертности вирусного лизиса, часть этого потока возвращается в пул растворенного органического вещества (Fuhrman, 1999). Теоретические расчеты трофических взаимодействий на уровне микробной петли прогнозируют снижение обилия вирусов, вызванное протистами, поглощающими как свободные вирусные частицы, так и инфицированные ими бактерии (Miki, Yamamura, 2005). В свою очередь, часть инфицированных клеток может стать устойчивой к выеданию, что, наравне с их возможным вирусным лизисом, лишает простейших потенциальной добычи (Synergistic ..., 2007).

В водной среде до 97 % и более вирусов появляется как следствие литической инфекции (Wilcox, Fuhrman, 1994). В период наших наблюдений вирусы являлись активным компонентом планктонного сообщества, о чем свидетельствует их численность, изменяющаяся от 2 до 5 млн частиц/мл. Ее диапазон и средние значения в пред- и постцветение были сопоставимы. В каждом из этапов вирусы превышали численность бактерий в среднем соответственно в 15 и 8 раз. Мы полагаем, что наиболее вероятной причиной различий в значениях стало снижение доли лизогенных клеток в составе бактериопланктона, обусловленное сменой условий его существования.

Установлено, что вирусная инфекция связана с трофическим статусом водоема, влияющим на численность как вирусов, так и бактерий-хозяев (Wommack, Colwell, 2000). От соотношения этих показателей в дальнейшем будет зависеть тип вирусной инфекции – литический или лизогенный (Wilcox, Fuhrman, 1994). Недостаток питательных веществ на этапе предцветения лимитировал рост бактериопланктона, направляя развитие инфекции по пути лизогении (Weinbauer, 2004), в то время как увеличение концентраций органического вещества способствовало развитию лизиса (Noble, Fuhrman, 1999). Повышенная численность бактериопланктона в цветение и постцветение, рассматриваемая как следствие достаточных количеств лабильного субстрата и преобладания литического типа инфекции, влияла на существенное снижение величины соотношения  $N_{vir}/N_{bak}$ .

Таким образом, исследования арктических акваторий показали, что сезонное эвтрофирование пелагиали, вызванное цветением (повышение статуса вод в мае на северо-востоке и в июле на северо-западе), укладывалось в сроки, соответствующие высокому уровню

освещенности. Полученные результаты, за исключением периода майского цветения, позволили оценить воды как низкопродуктивные. Структура бактериопланктона в целом отражала уровень развития сообщества микроводорослей. На его распределение влияла дискретность поступления в среду продуктов фотосинтеза. Концентрация водных вирусов менее всего зависела от показателей продуктивности. Более чувствительным к трофическим изменениям в среде являлось соотношение численности вирусов и бактерий.

Работа выполнена по темам 9-17-01 (51) и 9-18-02 (133; 137) в рамках государственных заданий № 0228-2018-0001 и № 0228-2018-0018 соответственно.

## Литература

*Байтаз В. А., Байтаз О. Н., Мишустина И. Е.* Морфометрия клеток, численность и биомасса основных морфологических групп бактериопланктона Баренцева моря // *Океанология*. 1996. Т. 36, № 6. С. 883–887.

*Бактериопланктон и факторы среды высокоширотных районов Баренцева моря в апреле 2016 г.* / Т. И. Широколобова, М. П. Венгер, А. П. Жичкин, И. А. Пастухов // *Океанология в XXI веке: современные факты, модели, методы и средства*, г. Ростов-на-Дону, 13–16 декабря 2017 г.: Матер. Междунар. молодежной науч. конф. Ростов н/Д.: Изд. ЮНЦ РАН, 2017. С. 293–296.

*Ведерников В. И.* Зависимость ассимиляционного числа и концентрации хлорофилла *a* от продуктивности вод в различных температурных областях Мирового океана // *Океанология*. 1975. Т. 15, вып. 4. С. 703–707.

*Ведерников В. И., Соловьева А. А.* Первичная продукция и хлорофилл в прибрежных водах Баренцева моря // *Океанология*. 1972. Т. 12, № 4. С. 669–676.

*Ветров А. А., Романкевич Е. А.* Межгодовая изменчивость первичной продукции и потоков органического углерода в арктических морях России // *Океанология*. 2008. Т. 48, № 3. С. 371–380.

*Ветров А. А., Романкевич Е. А.* Первичная продукция и потоки органического углерода на дно в арктических морях, ответ на современное потепление // *Океанология*. 2011. Т. 51, № 2. С. 266–277.

*Вирусы в пелагиали Баренцева моря* / М. П. Венгер, Т. И. Широколобова, П. Р. Макаревич, В. В. Водопьянова // *Докл. РАН*. 2012. Т. 446, № 3. С. 345–349.

*Влияние вирусов на бактериопланктон открытой и прибрежной части Баренцева моря* / М. П. Венгер, А. И. Копылов, Е. А. Заботкина, П. Р. Макаревич // *Биология моря*. 2016. Т. 42, № 1. С. 19–26.

*Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла a* (ГОСТ 17.1.4.02-90). М.: Изд-во стандартов, 2001. 10 с.

*Гаврилова М. К.* Радиационный климат Арктики. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 226 с.

*Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. I. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия.* Л.: Гидрометеиздат, 1990. 280 с.

*Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. I. Баренцево море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности.* Л.: Гидрометеиздат, 1992. 182 с.



Кузнецов Л. Л. Сезонная динамика продукционных характеристик фитопланктона и микрофитобентоса в прибрежье Баренцева моря // Исследования фитопланктона в системе мониторинга Балтийского моря и других морей СССР. М.: Гидрометеиздат, 1991. С. 232–241.

Кузнецов Л. Л. Продукция фитоценозов в экосистеме Баренцева моря // Фитоценозы Баренцева моря (физиологические и структурные характеристики). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2003. С. 7–181.

Макаревич П. Р. Первичная продукция Баренцева моря // Вестн. МГТУ. 2012. Т. 15, № 4. С. 786–793.

Макаревич П. Р., Олейник А. А. Фитопланктон Баренцева моря в весенний период: состав и структура в районе ледовой кромки // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2017. Т. 2(8). Океанология. Вып. 4. С. 50–58.

Моргунов В. К. Основы метеорологии, климатологии. Метеорологические приборы и методы наблюдений. Ростов н/Д.: Феникс, 2005. 331 с.

Норина А. М. Гидрохимическая характеристика северной части Баренцева моря // Тр. ГОИН. 1965. Вып. 83. С. 243–271.

Оценка первичной продукции морского фитопланктона по хлорофиллу *a*, относительной прозрачности и спектрам восходящего излучения / В. Е. Шемшур, З. З. Финенко, З. П. Бурлакова, Д. К. Крупаткина // Океанология. 1990. Т. 30, вып. 3. С. 479–485.

Планктон морей Западной Арктики / Отв. ред. Г. Г. Матишов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. 352 с.

Роухияйнен М. И. Первичная продукция планктона одной из губ Баренцева моря // Докл. АН СССР. 1961. Т. 141, № 1. С. 205–207.

Савинов В. М. Основные черты пространственного распределения первичной продукции фитопланктона Баренцева моря: Препр. Апатиты: Изд. КНЦ АН СССР, 1990. 33 с.

Сорокин Ю. И. Бактериальная продукция в водоемах // Общая экология. Биоценология. Гидробиология. Т. 1. М.: Изд-во ВИНТИ АН СССР, 1973. С. 47–101.

Среда обитания и экосистемы Земли Франца-Иосифа (архипелаг и шельф) / Отв. ред. Г. Г. Матишов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1994. 256 с.

Химические процессы в экосистемах северных морей (гидрохимия, геохимия, нефтяное загрязнение) / Г. Г. Матишов, Л. Г. Павлова, Г. В. Ильин и др. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. 404 с.

Carbon transfer in herbivore- and microbial loop-dominated pelagic food webs in the southern Barents Sea during spring and summer / F. D. Laender, D. V. Oevelen, K. Soetaert, J. J. Middelburg // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2010. Vol. 398. P. 93–107.

Ducklow H. W. The bacterial component of the oceanic euphotic zone // FEMS Microbiol. Ecol. 1999. Vol. 30. P. 1–10.

Fuhrman J. A. Marine viruses and their biogeochemical and ecological effects // Nature. 1999. Vol. 399. P. 541–548.

Geographical variations in the trophic structure of the plankton community along a eutrophic-mesotrophic oligotrophic transect / S. Uye, N. Iwamoto, T. Ueda et al. // Fish Oceanogr. 1999. Vol. 8. P. 227–237.

Hansen B. E., Christiansen S., Pedersen G. B. M. Plankton dynamics in the marginal ice zone of the central Barents Sea during spring: carbon flow and structure of the grazer food chain // Polar Biol. 1996. Vol. 16. P. 115–128.

*Incorporation of viruses into the budget of microbial C-transfer. A first approach / G. Bratbak, M. Heldal, T. F. Thingstad et al. // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1992. Vol. 83. P. 273–280.*

*Luchetta A., Lipizer M., Socal G. Temporal evolution of primary production in the central Barents Sea // J. Mar. Syst. 2000. Vol. 27. P. 177–193.*

*Makarevich P., Druzhkova E., Larionov V. Primary Producers of the Barents Sea // Diversity of Ecosystems / A. Mahamane (Ed.). Rijeka, Croatia: In Tech, 2012. P. 367–392. URL: <http://www.intechopen.com/books/diversity-of-ecosystems/primary-producers-of-the-barents-sea>.*

*Microbial communities and processes in ice-covered Arctic waters of the northwestern Fram Strait (75–80° N) during the vernal pre-bloom phase / L. Seuthe, B. Töpper, M. Reigstad et al. // Aquatic Microb. Ecol. 2011. Vol. 64. P. 253–266.*

*Miki T., Yamamura N. Intraguild predation reduces bacterial species richness and loosens the viral loop in aquatic systems: “kill the killer of the winner” hypothesis // Aquat. Microb. Ecol. 2005. Vol. 40. P. 1–12.*

*Møller E. F. Production of dissolved organic carbon by sloppy feeding in the copepods *Acartia tonsa*, *Centropages typicus* and *Temora longicornis* // Limnol. Oceanogr. 2007. Vol. 52. P. 79–84.*

*Nagata T., Kirchman D. L. Release of dissolved free and combined amino-acids by bacterivorous marine flagellates // Limnol. Oceanogr. 1991. Vol. 36. P. 433–443.*

*Near-ubiquity of ice-edge blooms in the Arctic / M. Perrette, A. Yool, G. D. Quartly, E. E. Popova // Biogeosciences. 2011. Vol. 8. P. 515–524.*

*Noble R. T., Fuhrman J. A. Breakdown and microbial uptake of marine viruses and other lysis products // Aquat. Microb. Ecol. 1999. Vol. 20. P. 1–11.*

*Onarheim I. H., Arthun M. Toward an ice-free Barents Sea // Geophys. Res. Lett. 2017. Vol. 44. Iss. 16. URL: <https://doi.org/10.1002/2017GL074304>.*

*Porter K. G., Feig Y. S. The use DAPI for identifying and counting of aquatic microflora // Limnol. Oceanogr. 1980. Vol. 25, № 5. P. 943–948.*

*Productivity in the Barents Sea – response to recent climate variability / P. Dalpadado, K. R. Arrigo, S. S. Hjøllo et al. // PLoS ONE. 2014. Vol. 9, № 5. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095273>.*

*Roy S., Harris R. P., Poulet S. A. Inefficient feeding by *Calanus helgolandicus* and *Temora longicornis* on *Coscinodiscus wailesii*: quantitative estimation using chlorophyll-type pigments and effects on dissolved free amino-acids // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1989. Vol. 52. P. 145–153.*

*Sakshaug E. Primary and secondary production in the Arctic seas / R. Stein, R. W. MacDonald (Eds.) // The organic carbon cycle in the Arctic Ocean. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2004. P. 57–81.*

*Sanders R. W., Caron D. A., Berninger U. G. Relationships between bacteria and heterotrophic nanoplankton in marine and fresh waters: an inter-ecosystem comparison // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1992. Vol. 86. P. 1–14.*

*Schubert C. J., Calvert S. E. Nitrogen and carbon isotopic composition of marine and terrestrial organic matter in Arctic Ocean sediments: Implications for nutrient utilization and organic matter composition // Deep Sea Res. 2001. Part 1. Vol. 48. P. 789–810.*

*Serreze M. C., Holland M. M., Stroeve J. Perspectives on the Arctic’s shrinking sea-ice cover // Science. 2007. Vol. 315. Is. 5818. P. 1533–1536.*

*Simon M., Cho B. C., Azam E.* Significance of bacterial biomass in lakes and the ocean: comparison to phytoplankton biomass and biogeochemical implications // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1992. Vol. 86. P. 103–110.

*Suttle C. A.* Viruses in the Sea // *Nature.* 2005. Vol. 437. P. 356–361.

*The ecological role of water-column microbes in the sea / F. Azam, T. Fenchel, J. D. Field, J. S. Gray, L. A. Meyer-Reil, F. Thingstad // Mar. Ecol. Progr. Ser.* 1983. Vol. 10. P. 257–263.

*Weinbauer M. G.* Ecology prokaryotic viruses // *FEMS Microbiol. Rev.* 2004. V. 28. P. 127–181.

*Whitman W. B., Coleman D. C., Wiebe W. J.* Prokaryotes. The unseen majority // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1998. Vol. 95. P. 6578–6583.

*Wilcox R. M., Fuhrman J. A.* Bacterial-viruses in coastal seawater – lytic rather than lysogenic production // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1994. Vol. 114. P. 35–45.

*Wommack K. E., Colwell R. R.* Virioplankton: viruses in aquatic ecosystems // *Microb. Mol. Biol. Rev.* 2000. Vol. 64. P. 69–114.

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2018-9-4-61-92  
УДК 574.587

**Л. В. Павлова, И. О. Нехаев, Н. Н. Пантелеева, О. Ю. Ахметчина, Е. А. Гарбуль, Д. Р. Дикаева, О. Л. Зими́на, О. С. Любина, А. А. Фролов, Е. А. Фролова**  
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

## **МЕЛКОВОДНЫЙ БЕНТОС КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА (БАРЕНЦЕВО МОРЕ): БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ СООБЩЕСТВ**

### **Аннотация**

Представлены результаты исследований мелководных донных сообществ северной части Кольского залива в 2013 г. Впервые установлено биологическое разнообразие и количественное распределение зообентоса на глубине до 20–25 м, проанализирована зависимость от факторов среды. Описаны типы донных сообществ, приведена их характеристика. Сделан вывод об устойчивости сообществ неподвижных сестонофагов к современному уровню загрязнения залива. В сообществах мягких грунтов незначительное влияние стресса на бентос отмечено на отдельных станциях. Наиболее вероятная причина нарушений – выедание камчатским крабом, а не загрязнение среды.

### **Ключевые слова:**

зообентос, биологическое разнообразие, Кольский залив, антропогенное загрязнение.

**L. V. Pavlova, I. O. Nekhaev, N. N. Panteleeva, O. Yu. Akhmetchina, E. A. Garbul, D. R. Dikaeva, O. L. Zimina, O. S. Lyubina, A. A. Frolov, E. A. Frolova**  
Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia

## **SHALLOW BENTHOS OF KOLA BAY (BARENTS SEA): BIODIVERSITY AND ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE OF COMMUNITIES**

### Abstract

Results of researches of shallow bottom communities of a northern part of Kola Bay in 2013 are presented. The biological diversity and distribution of a zoobenthos at a depth up to 20–25 m is for the first time established, distribution of characteristics of a benthos depending on environment factors is analyzed. Types of bottom communities are described, their characteristic is provided. The conclusion is drawn on resistance of communities of sessile suspension-feeders to the modern level of pollution of the gulf. In communities of soft soil insignificant influence of a stress on a benthos is noted at certain stations. Trophic activity of invasive predator (the red king crab), but not pollution of the environment could be the most probable cause of violations.

### Keywords:

zoobenthos, biodiversity, Kola Bay, anthropogenic pollution.

**Введение.** Активизация хозяйственно-промышленной деятельности на шельфе Баренцева моря в перспективе неизбежно приведет к усилению антропогенного воздействия на уязвимые морские экосистемы Арктики. При различных экологических катастрофах ущерб может быть нанесен высокопродуктивной прибрежной зоне, сохранение биоразнообразия и устойчивого функционирования которой – актуальная задача. Интерес к прибрежной зоне стимулируется деградацией бентоса во многих умеренных и тепловодных морях из-за чрезмерного антропогенного воздействия. Для решения вопросов, связанных с сохранением биоразнообразия и устойчивым функционированием донных сообществ прибрежной зоны, необходимы полные сведения об их структуре и состоянии на начальный момент исследований и последующий мониторинг.

Кольскому заливу, крупнейшему фьорду на Мурманском побережье, в настоящее время отводится роль узлового пункта транспортировки и перегрузки нефти. Возросшая транспортная нагрузка неизбежно приведет к усилению антропогенного воздействия на его экосистему, поэтому требуется оценка современного состояния мелководных донных сообществ.

История изучения сублиторального зообентоса Кольского залива насчитывает уже более 100 лет. Самые первые сведения об обитающих в заливе морских звездах, офиурах, голотуриях, морских ежах, губках и, вероятно, мшанках принадлежат путешественнику Н. Я. Озерецковскому (1804). Собственно научные исследования отдельных групп бентоса начались со второй половины XIX века (Smitt, 1878; Герценштейн, 1885; Шимкевич, 1895, 1896; Бируля, 1899; Theele, 1905; Редикорцев, 1908; Линко, 1911, 1912), а первая комплексная бентосная съемка залива с использованием драг и тралов была проведена под руководством К. М. Дерюгина в 1908–1909 гг. с целью описания всей фауны. По ее результатам была опубликована монография “Фауна Кольского залива и условия ее существования” (Дерюгин, 1915), не утратившая своей актуальности и поныне. Тогда в траловых сборах было обнаружено не менее 900 видов бентосных свободноживущих беспозвоночных. Особенно высокое видовое разнообразие отмечалось у моллюсков (175 видов), мшанок (155), членистоногих (137) и полихет (110).

Первая съемка с использованием дночерпателей была выполнена в глубоководной зоне залива в 1934–1936 гг. В. И. Зацепиным (1962) для изучения количественных показателей обилия бентоса и распределения сообществ. К сожалению, видовые списки донных беспозвоночных так и не были опубликованы. В последующие 40 лет исследования фауны Кольского залива не проводились. За это время произошло активное заселение берегов залива, особенно в его южной части, развилась мощная инфраструктура, появились военно-морские базы, на акватории залива активно развивалось судоходство. Экосистема Кольского залива испытала на себе мощный антропогенный прессинг, а его акватория к концу 1980-х гг. была признана наиболее загрязненным районом Баренцева моря (Семенов, 1991). Впрочем, статус наиболее загрязненной акватории на Северо-Западе России сохраняется за заливом и в настоящее время (Шахвердов, Шахвердова, 2016).

Возобновились исследования в заливе только в 1970-х гг. Были получены сведения о составе и распределении бентоса глубоководной части (Антипова, 1984; Фролова, 1991; Донная ..., 1997). В мелководной зоне залива локальные гидробиологические исследования проводились в его южной и средней части (Голиков, Аверинцев, 1977; Зообентос ..., 2009; Павлова и др., 2009), для северной части залива данные отсутствуют. Единственное фаунистическое исследование пояса ламинариевых водорослей в северной части залива было выполнено в 1922–1923 гг. (Гурьянова, 1924), но к моменту публикации результатов, как указывала автор, не во всех систематических группах бентоса была завершена таксономическая идентификация.

Цель настоящей работы – заложить основу для мониторинга состояния прибрежных экосистем Кольского залива. Для этого необходимо оценить современное видовое разнообразие бентоса и состояние донных сообществ в северной части Кольского залива в условиях существующего уровня антропогенной нагрузки. Такое исследование для указанной части залива проведено впервые.

**Материал и методы.** С 25 мая по 02 июня 2013 г. на маломерном судне в северном колене Кольского залива, пробы отбирали с использованием легководолазной техники на 8 разрезах, расположенных перпендикулярно береговой линии на восточном и западном берегах (рис. 1). На каждом разрезе было заложено по 3 станции (табл. 1).

Макрозообентос отбирался рамкой, снабженной съемным мешком, площадью 0.0625 м<sup>2</sup> в 3-кратной повторности. С поверхности твердого грунта животных соскребали ножом, на мягком субстрате рамкой вырезался пласт грунта толщиной 10–15 см. Пробы с мягкого грунта промывались через сито с ячейей 0.5 мм. Крупных (более 1 см) подвижных или малоподвижных беспозвоночных с неравномерным распределением (мегазообентос) учитывали с помощью рамки площадью 1 м<sup>2</sup>. Количество таких проб в зависимости от плотности распределения животных на каждой станции варьировало от 5 до 48. Пробы макро- и мегазообентоса

фиксируют 4 %-м раствором формалина с нейтральной кислотностью. Всего было собрано 72 количественные пробы макрозообентоса и 456 – мезозообентоса.



Рис. 1. Карта-схема расположения разрезов в Кольском заливе  
Fig. 1. Location of benthic sampling transects in Kola Bay

Таблица 1

**Характеристика станций на исследованной акватории Кольского залива в 2013 г.**  
Table 1  
**Characteristics of the benthic stations during the expeditions in the Kola Bay in 2013**

Номер станции	Координаты		Н, м	Грунт	ПП, %	Т, °С	S, ‰
	с. ш.	в. д.					
Разрез 1, 26 мая							
1	69°12.898′	33°29.016′	5	Песок, ракуша	30	6.0	29.78
2	69°12.922′	33°29.073′	10	Песок, ракуша	1–5	4.0	32.45
3	69°12.922′	33°29.319′	20	Илистый песок	< 1	4.0	33.74
Разрез 2, 27 мая							
4	69°17.852′	33°26.978′	5	Валуны	100	4.0	32.17
5	69°17.845′	33°27.001′	10	Песок с камнями и ракушей	50	3.9	34.29
6	69°17.837′	33°27.039′	20	Песок, ракуша	< 5	3.7	34.45
Разрез 3, 28 мая							
7	69°16.795′	33°33.081′	5	Скала, валуны	100	5.0	32.36
8	69°16.798′	33°33.068′	10	Валуны на песке	80	3.0	34.22
9	69°16.814′	33°32.993′	20	Песок, галька, ракуша	< 1	3.0	34.96

Разрез 4, 29 мая							
10	69°12.504′	33°34.22′	5	Скала	100	4.9	30.22
11	69°12.477′	33°34.171′	10	Валуны на скале	50	3.6	33.9
12	69°12.467′	33°34.112′	20	Скала с песком и ракушей	< 1	3.0	34.37
Разрез 5, 31 мая							
13	69°09.071′	33°32.624′	5	Скала	100	4.0	31.63
14	69°09.145′	33°32.725′	10	Песок, галька, валуны	100	4.0	33.89
15	69°09.155′	33°32.741′	20	Песок с полосами гальки	10–30	3.0	34.29
Разрез 6, 1 июня							
16	69°08.829′	33°27.229′	5	Песок	90	3.6	33.38
17	69°08.818′	33°27.229′	10	Песок, битая и целая ракуша	30	3.4	34.08
18	69°08.797′	33°27.265′	20	Илистый песок, ракуша	5	3.2	34.30
Разрез 7, 2 июня							
19	69°07.417′	33°23.964′	5	Скала, камни	100	3.2	33.49
20	69°07.433′	33°24.001′	10	Скала с наносами песка	30	3.1	34.00
21	69°07.434′	33°24.067′	20	Скала	< 1	3.2	34.51
Разрез 8, 30 мая							
22	69°07.227′	33°28.759′	5	Валуны, песок, ракуша	100	3.8	33.55
23	69°07.265′	33°28.787′	10	Мало заиленные галька, песок	30	3.5	34.25
24	69°07.294′	33°28.806′	20	Мало заиленные галька, песок, валуны	–	2.8	34.50

ПРИМЕЧАНИЕ. Н – глубина моря, ПП – проективное покрытие макрофитов, Т – придонная температура воды, S – придонная соленость воды.

В лаборатории пробы макрозообентоса обрабатывали по стандартным методикам (Руководство ..., 1980). Для каждого вида в пробе устанавливали численность и массу (с точностью до 0.001 г). Раковинных моллюсков взвешивали вместе с раковиной; полихет, строящих трубки только из секрета, – вместе с трубками, инкрустирующих трубки частицами грунта, обломками раковин и др. – без трубок. Численность прикрепленных колониальных беспозвоночных (корковые мшанки и кустистые гидроиды на субстрате) определяли по числу колоний, а присутствие в пробе обломков колоний одного вида принимали за 1 экз.



Для каждого вида рассчитывали плотность поселения ( $N$ , экз/м<sup>2</sup>) и биомассу ( $B$ , г/м<sup>2</sup>). Относительную интенсивность метаболизма  $R$  (кДж/м<sup>2</sup>) определяли по формуле

$$R_s = cB_s^{0.75}N_s^{0.25},$$

где  $N_s$  – плотность поселения, экз/м<sup>2</sup>;  $B_s$  – биомасса таксона на станции  $S$ , кДж/м<sup>2</sup>;  $c$  – специфичный для таксона коэффициент удельной интенсивности метаболизма, кДж/ч (Алимов, 1979).

На каждой станции вычисляли видовую плотность (число видов на станцию), рассчитывали информационный индекс биоразнообразия Шеннона ( $H'$ ) и индекс выравненности Пиелу ( $J'$ ). Ожидаемое число видов в изучаемом районе оценивали с помощью прогностических алгоритмов (эстиматоров) Chao I и Chao II (Chao, 1984, 1987). Для оценки наличия связи между распределением характеристик зообентоса и некоторыми факторами среды (глубина, температура, соленость придонной воды, тип грунта, проективное покрытие макрофитов) использовали регрессионный анализ.

Донные биоценозы выделяли по биомассе с учетом частоты встречаемости видов (Воробьев, 1949). Для проверки и дополнения результатов использовали также объединение станций на основе коэффициентов сходства Брея–Куртиса методом парного присоединения (при кластеризации использовали процентное соотношение относительной интенсивности метаболизма таксонов) в программе Past. Степень значимости видов в биоценозе оценивали по частоте встречаемости (ЧВ, %), индексу плотности (Зенкевич, Броцкая, 1937) и их доле в относительной интенсивности метаболизма сообщества. В качестве коэффициента сходства между сравниваемыми видовыми списками сообществ использовали коэффициент Жаккара  $K_J$  (Jaccard, 1901). Степень нарушенности донных сообществ оценивали с использованием индекса экологического стресса  $D_E$  (Denisenko, 2004), значения которого изменяются от  $-1$  (отсутствие стресса) до  $1$  (сильный стресс).

**Результаты. Краткая характеристика районов исследования.** Исследования проводились в период наибольшего весеннего распреснения водных масс залива, влияние которого прослеживалось почти до 10 м. На некоторых разрезах соленость и температура воды между слоями 5 и 10 м отличалась примерно на 4 ‰ и 2 °С соответственно (табл. 1). Глубже 10 м гидрологические условия были более стабильными и менее подвержены приливоотливным колебаниям, соленость соответствовала океанической, а температура воды – средней сезонной. Концентрация растворенного кислорода в водных массах в исследуемом диапазоне глубин варьировала от 7.0 до 7.6 мл/л.

Рельеф морского дна в исследуемой части Кольского залива был более или менее одинаков (на большинстве разрезов). Как правило, от уреза воды и до глубины 15 м наблюдался выраженный свал с уклоном 45–60°, реже – 80°, представленный валунами, россыпями камней или выходами скал. Ламинариевые водоросли на таком субстрате образуют густые заросли практически с 100 %-м проективным покрытием (табл. 1). На большинстве разрезов под свалом дно постепенно выполаживалось до 15° (на разрезе 2 – до 10°), а твердый грунт сменялся песком с примесью гальки или ракуши. Скала на разрезе 7, формируя ступенчатые уступы, уходила под воду на глубину более 40 м. Пологое (с уклоном 15–20°) илисто-песчаное дно на разрезе 1 начиналось сразу от границы с литоралью, твердые грунты отсутствовали (табл. 1).

**Видовое разнообразие зообентоса.** Всего в пробах обнаружено не менее 358 видов донных беспозвоночных 11 типов, 21 класса и 170 семейств (табл. 2). В мелководной зоне залива наиболее богаты видами полихеты (93 вида), моллюски (78) и мшанки (78), несколько беднее членистоногие (59), невысокое видовое разнообразие зафиксировано у представителей типа стрекающих, иглокожих и оболочников (22, 13 и 11 видов соответственно). Недооценено видовое разнообразие у губок, немуртин, нематод и морских олигохет. По оценке с помощью эстиматоров, в районе исследования может обитать от 421 (Chao I) до 443 (Chao II) видов беспозвоночных.

Таблица 2

**Видовой состав, средняя частота встречаемости зообентоса (ЧВ<sub>ср.</sub>, %) в пробах и мелководных донных сообществах Кольского залива (2013 г.)**

Table 2

**Species composition, average frequency of occurrence (%) of a zoobenthos in samples and bottom communities of the Kola Bay (2013)**

Таксон	ЧВ <sub>ср.</sub>	Сообщества						
		1	2a	2b	3	4	5	ст. 4
Тип Porifera								
Класс Demospongiae								
<i>Radiella hemisphaerica</i> (Sars, 1872)	1	5	–	–	–	–	–	–
Porifera g. sp.	17	14	25	–	33	20	–	+
Тип Cnidaria								
Класс Hydrozoa								
<i>Calycella syringa</i> (L., 1767)	4	5	8	–	–	–	–	+
<i>Clytia gracilis</i> (M. Sars, 1850)	11	14	25	–	33	–	–	–
<i>Dicoryne conferta</i> (Alder, 1856)	3	–	–	–	33	–	–	–
<i>Dynamena pumila</i> (L., 1758)	11	10	–	–	–	–	67	–
<i>Ectopleura larynx</i> (Ellis et Solander, 1786)	7	5	–	–	83	–	–	–
<i>Eudendrium</i> sp.	3	5	8	–	–	–	–	–
<i>Gonothyraea loveni</i> (Allman, 1859)	15	14	50	–	–	7	–	+
<i>Halecium muricatum</i> (Ellis et Solander, 1786)	4	–	17	–	17	–	–	–

<i>Halecium tenellum</i> Hincks, 1861	6	10	–	–	–	–	–	+
<i>Hydractinia carica</i> Bergh, 1887	1	–	–	–	17	–	–	–
<i>Lafoea dumosa</i> (Fleming, 1828)	3	–	8	–	–	–	11	–
<i>Laomedea flexuosa</i> Hincks in Alder, 1856	1	–	–	–	–	7	–	–
<i>Obelia geniculata</i> (L., 1758)	6	–	17	–	–	–	–	+
<i>Obelia longissima</i> (Pallas, 1766)	25	43	58	–	17	7	–	+
<i>Opercularella lacerata</i> (Johnston, 1847)	6	14	–	–	–	–	–	+
<i>Sarsia loveni</i> (M. Sars, 1846)	8	10	25	–	–	–	11	–
<i>Sertularella rugosa</i> (L., 1758)	3	5	8	–	–	–	–	–
Класс Anthozoa								
<i>Duva florida</i> (Rathke, 1806)	1	–	–	–	–	7	–	–
<i>Gersemia fruticosa</i> Sars, 1860	1	–	–	–	–	5	–	–
<i>Hormathia digitata</i> (Müller, 1776)	1	–	–	–	4	1	2	–
<i>Urticina crassicornis</i> (Müller, 1776)	< 1	–	2	–	4	–	–	–
Класс Scyphozoa								
<i>Lucernaria quadricornis</i> Müller, 1776	1	2	2	–	–	7	–	–
Тип Nemertea								
Класс Anopla								
<i>Lineus gesserensis</i> (Müller, 1774)	6	14	–	–	–	7	–	–
Nemertea g. sp.	36	63	50	17	33	7	67	–
Тип Nematoda								
Nematoda g. sp.	44	48	33	100	17	53	67	–
Тип Annelida								
Класс Cliterata								
Oligochaeta g. sp.	24	33	17	33	17	20	22	–
Класс Polychaeta								
Ampharetidae g. sp.	4	–	–	–	–	13	11	–
<i>Amphicteis gunneri</i> (M. Sars, 1835)	1	–	–	–	–	–	11	–
<i>Amphitrite cirrata</i> (Müller, 1771 in 1776)	3	5	–	–	17	–	–	–
<i>Aonides paucibranchiata</i> Southern, 1914	14	–	–	100	–	27	–	–
<i>Bipalponephtys neotena</i> (Noyes, 1980)	7	–	–	–	–	13	44	–
<i>Bushiella (Jugaria) quadrangularis</i> (Stimpson, 1854)	22	33	50	–	17	–	–	+
<i>Bushiella (Jugaria) similis</i> (Bush, 1905)	14	19	33	–	17	–	–	+
<i>Capitella capitata</i> (Fabricius, 1780)	29	67	–	17	–	20	67	–
<i>Chaetozone setosa</i> Malmgren, 1867	19	–	25	17	17	20	86	–
<i>Chitinopoma serrula</i> (Stimpson, 1854)	10	14	33	–	–	–	–	–
<i>Chone duneri</i> Malmgren, 1867	18	33	8	17	17	33	100	–
<i>Chone infundibuliformis</i> Krøyer, 1856	25	14	42	33	33	33	–	+
<i>Chone murmanica</i> Lucasch, 1910	4	–	25	–	–	–	–	–
<i>Circeis armoricana</i> Saint-Joseph, 1894	54	81	83	50	67	33	–	+
<i>Circeis spirillum</i> (L., 1758)	29	32	83	33	17	7	–	+
<i>Cirratulus cirratus</i> (Müller, 1776)	33	67	42	–	83	53	11	+
<i>Cistenides granulata</i> (L., 1767)	44	48	8	33	33	80	100	–
<i>Clymenura polaris</i> (Theel, 1879)	1	–	–	–	–	–	11	–
<i>Cossura longocirrata</i> Webster et Benedict, 1887	8	5	–	–	–	7	67	–
<i>Dipolydora coeca</i> (Örsted, 1843)	3	10	–	–	–	–	–	–

<i>Dipolydora caulleryi</i> (Mesnil, 1897)	3	10	–	–	–	–	–	–
<i>Dipolydora quadrilobata</i> (Jakobi, 1883)	36	29	25	100	–	67	–	+
<i>Dipolydora socialis</i> (Schmarda, 1861)	19	5	–	67	–	27	78	–
<i>Dodecaceria concharum</i> Örsted, 1843	42	–	92	–	67	20	–	+
Dorvilleidae g. sp.	4	–	8	–	–	7	11	–
<i>Eteone flava</i> (Fabricius, 1780)	51	52	42	100	33	53	100	–
<i>Euchone analis</i> (Krøyer, 1856)	7	–	17	–	17	13	–	–
<i>Eulalia bilineata</i> (Johnston, 1840)	1	–	–	–	–	–	–	+
<i>Eulalia viridis</i> (L., 1767)	19	32	33	–	–	20	–	+
<i>Eunice dubitata</i> Fauchald, 1974	4	–	17	–	17	–	–	–
<i>Eunice pennata</i> (Müller, 1776)	1	–	8	–	–	–	–	–
<i>Eunoe nodosa</i> (M. Sars, 1861)	3	–	–	–	33	–	–	–
Exogoninae g. sp.	8	–	–	33	–	27	–	–
<i>Fabricia stellaris stellaris</i> (Müller, 1774)	4	5	–	17	–	–	11	–
<i>Flabelligera affinis</i> M. Sars, 1829	6	5	17	–	–	7	–	–
<i>Galathowenia oculata</i> (Zachs, 1923)	14	10	–	–	17	7	78	–
<i>Glycera capitata</i> Örsted, 1843	61	67	58	100	67	93	11	+
<i>Goniada maculata</i> Örsted, 1843	1	–	–	–	–	7	–	–
<i>Harmothoe imbricata</i> (L., 1767)	18	57	–	–	–	7	–	+
<i>Harmothoe</i> sp.	21	–	25	33	33	60	–	–
Hesionidae g. sp.	3	–	8	–	–	7	–	–
<i>Heteromastus filiformis</i> (Claparède, 1864)	29	14	25	100	–	53	11	–
<i>Hydroides norvegicus</i> Gunnerus, 1768	22	10	50	–	17	47	–	–
<i>Lanassa venusta venusta</i> (Malm, 1874)	1	–	–	–	–	–	11	–
<i>Laonice cirrata</i> (M. Sars, 1851)	11	–	25	–	17	20	11	–
<i>Laphania boeckii</i> Malmgren, 1866	14	10	17	–	17	13	11	–
<i>Leaena abranchiata</i> (M. Sars, 1865)	1	–	–	–	–	7	–	–
<i>Lepidonotus squamatus</i> (L., 1758)	36	76	67	–	17	7	–	+
<i>Levinsenia gracilis</i> (Tauber, 1879)	3	–	–	–	–	7	11	–
Lumbrineridae g. sp.	8	–	–	–	17	13	33	–
<i>Malacoceros tetrocerus</i> (Schmarda, 1861)	1	–	–	–	–	7	–	–
<i>Melinna elisabethae</i> McIntosh, 1914	14	5	8	–	17	47	33	–
<i>Myriochele heeri</i> Malmgren, 1867	1	–	–	17	–	–	–	–
<i>Naineris quadricuspida</i> (Fabricius, 1780)	15	38	8	–	–	13	–	–
<i>Nephtys paradoxa</i> Malm, 1874	1	–	–	–	–	–	11	–
<i>Nephtys pente</i> Rainer, 1984	6	5	–	–	–	20	–	–
<i>Nereimyra punctata</i> (Müller, 1788)	53	76	67	17	100	47	11	+
<i>Nereis pelagica</i> L., 1758	29	62	58	–	17	–	–	+
<i>Nereis zonata</i> Malmgren, 1867	24	33	17	–	83	13	11	+
<i>Nicomache lumbricalis</i> (Fabricius, 1780)	1	5	–	–	–	–	–	–
<i>Nicomache (Nicomache) minor</i> Arwidsson, 1906	1	–	–	–	17	–	–	–
<i>Nothria hyperborea</i> (Hansen, 1878)	3	–	8	–	17	–	–	–
<i>Ophelia limacina</i> (Rathke, 1843)	28	–	–	100	–	60	78	–
<i>Paradexiospira (Paradexiospira)</i> <i>violacea</i> (Levinsen, 1883)	3	5	–	17	–	–	–	–
<i>Paradexiospira (Spirorbides) vitrea</i> (Fabricius, 1780)	7	10	17	17	–	–	–	–

<i>Paradoneis lyra</i> (Southern, 1914)	7	–	–	–	–	20	22	–
<i>Paraonides nordica</i> Strelzov, 1968	26	–	25	83	–	27	100	–
Paraonidae g. sp.	1	–	–	–	17	–	–	–
<i>Petaloproctus tenuis</i> (Théel, 1879)	1	–	–	–	–	7	–	–
<i>Pherusa arctica</i> Støp-Bowitz, 1948	19	43	33	–	–	–	–	–
<i>Pherusa plumosa</i> (Müller, 1776)	1	–	8	–	17	–	–	–
<i>Pholoe inornata</i> Johnston, 1839	33	48	25	17	–	27	100	–
<i>Pholoe longa</i> (Müller, 1776)	54	57	50	50	17	80	100	–
<i>Phyllodoce maculata</i> (L., 1767)	22	33	–	–	33	13	67	–
<i>Pisione remota</i> (Southern, 1914)	4	–	–	50	–	–	–	–
<i>Pista elongata</i> Moore, 1909	4	5	17	–	–	–	–	–
Polynoidae g. sp.	19	19	25	17	17	20	11	–
<i>Praxillella praetermissa</i> (Malmgren, 1865)	24	5	25	–	17	40	89	–
<i>Proclea graffii</i> (Langerhans, 1884)	1	5	–	–	–	–	–	–
<i>Pseudopotamilla reniformis</i> (Bruguière, 1789)	3	–	8	–	–	–	–	+
<i>Pygospio elegans</i> Claparède, 1863	8	5	–	–	–	20	22	–
<i>Scolecopsis matsugae</i> Sikorski, 1994	1	–	–	–	–	7	–	–
<i>Scoloplos (Scoloplos) armiger</i> (Müller, 1776)	35	10	33	17	17	73	100	–
Sphaerodoridae g. sp.	1	5	–	–	–	–	–	–
<i>Spio limicola</i> Verrill, 1879	15	–	8	–	–	20	100	–
<i>Spio armata</i> (Thulin, 1957)	28	14	–	83	17	40	78	–
<i>Spiophanes kroyeri</i> Grube, 1860	8	–	–	–	17	33	–	–
<i>Spirobranchus triqueter</i> (L., 1758)	44	62	83	–	83	33	–	+
Syllidae g. sp.	25	33	42	–	17	–	33	+
<i>Syllis armillaris</i> (Müller, 1776)	36	43	42	–	100	33	–	+
<i>Syllis fasciata</i> Malmgren, 1867	3	–	8	–	–	–	–	+
<i>Terebellides stroemii</i> Sars, 1835	14	5	–	–	33	13	78	–
<i>Thelepus cincinnatus</i> (Fabricius, 1780)	13	10	33	–	17	–	–	+
Тип Cephalorhyncha								
Класс Priapulida								
<i>Priapulid caudatus</i> Lamarck, 1816	1	–	–	–	–	–	11	–
Тип Arthropoda								
Класс Malacostraca								
<i>Acanthonotozoma rusanovae</i> Bryazgin, 1974	1	–	8	–	–	–	–	–
<i>Amphilochus manudens</i> Bate, 1862	10	14	8	–	50	–	–	–
<i>Ampithoe rubricata</i> (Montagu, 1818)	11	24	8	–	–	–	–	+
<i>Anonyx nugax</i> (Phipps, 1774)	1	–	–	–	–	–	11	–
<i>Anonyx sarsi</i> Steele, Brunel, 1986	1	–	–	–	–	7	–	–
<i>Apohyale prevostii</i> (Milne-Edwards, 1830)	1	–	–	–	–	7	–	–
<i>Balanus balanus</i> (L., 1758)	22	29	42	–	83	7	–	–
<i>Balanus crenatus</i> Bruguière, 1789	26	81	17	–	17	–	–	–
<i>Calliopius laeviusculus</i> (Krøyer, 1838)	3	10	–	–	–	–	–	–
<i>Deflexilodes subnudus</i> (Norman, 1889)	1	5	–	–	–	–	–	–
<i>Deflexilodes tessellatus</i> (Schneider, 1883)	1	–	–	–	–	–	11	–
<i>Dexamine thea</i> Boeck, 1861	1	–	–	–	–	–	11	–
<i>Eualus pusiolus</i> (Krøyer, 1841)	1	5	25	–	–	–	–	–

<i>Gammarellus homari</i> (Fabricius, 1779)	4	10	-	-	-	-	-	+
<i>Gammarus oceanicus</i> Segerstrale, 1947	3	10	-	-	-	-	-	-
<i>Hippomedon denticulatus</i> (Bate, 1857)	7	-	-	67	-	7	-	-
<i>Hippomedon propinquus</i> G. O. Sars, 1890	3	-	-	-	-	7	11	-
Hippolytidae g. sp.	7	-	-	-	33	-	11	+
<i>Hyas araneus</i> (L., 1758)	+	-	4	-	-	-	-	-
<i>Hyas coarctatus</i> Leach, 1816	+	2	-	-	-	-	-	-
<i>Idotea balthica</i> (Pallas, 1772)	6	14	-	-	-	-	-	+
<i>Idotea granulosa</i> Rathke, 1843	6	10	-	-	-	7	-	+
<i>Idotea pelagica</i> Leach, 1815	1	5	-	-	-	-	-	-
<i>Ischyrocerus anguipes</i> Krøyer, 1838	11	19	17	-	-	-	-	+
<i>Jaera</i> sp.	1	5	-	-	-	-	-	-
<i>Janira maculosa</i> Leach, 1814	3	-	-	-	33	-	-	-
<i>Lamprops fasciatus</i> G. O. Sars, 1863	1	-	-	-	-	-	11	-
<i>Lamprops fuscatus</i> G. O. Sars, 1865	12	-	-	-	-	-	100	-
<i>Lebbeus polaris</i> (Sabine, 1824)	1	-	8	-	-	-	-	-
<i>Liljeborgia kinahani</i> (Bate, 1862)	8	14	-	-	50	-	-	-
<i>Lithodes maja</i> (L., 1758)	+	-	+	-	-	-	-	-
<i>Megamphopus cornutus</i> Norman, 1869	1	-	-	17	-	-	-	-
<i>Metopa</i> sp.	14	24	33	-	17	7	-	-
<i>Monoculodes latimanus</i> (Goës, 1866)	11	14	17	-	17	13	-	-
<i>Nebalia bipes</i> (Fabricius, 1780)	3	-	-	-	-	-	22	-
<i>Nototropis swammerdamei</i> (Milne-Edwards, 1830)	1	-	-	17	-	-	-	-
<i>Orchomenella pinguis</i> (Boeck, 1861)	4	-	-	-	-	-	33	-
<i>Pagurus pubescens</i> Krøyer, 1838	10	13	25	4	13	31	2	-
<i>Pagurus bernhardus</i> (L., 1758)	< 1	-	-	-	-	-	1	-
<i>Paradulichia typica</i> Boeck, 1870	1	-	-	17	-	-	-	-
<i>Paralithodes camtschaticus</i> (Tilesius, 1815)	+	5	+	+	+	+	+	-
<i>Parapleustes gracilis</i> (Buchholz, 1874)	6	-	-	33	-	-	22	-
<i>Paroediceros lynceus</i> (M. Sars, 1858)	1	-	-	-	-	-	11	-
<i>Phoxocephalus holbolli</i> (Krøyer, 1842)	4	-	-	-	-	20	-	-
<i>Pleurogonium rubicundum</i> (G. O. Sars, 1864)	3	-	-	-	-	-	22	-
<i>Pleustes (Pleustes) panoplus</i> (Krøyer, 1838)	4	-	8	-	33	-	-	-
<i>Pleusymtes glaber</i> (Boeck, 1861)	18	33	50	-	-	-	-	-
<i>Pontocrates arcticus</i> G. O. Sars, 1895	1	5	-	-	-	-	-	-
<i>Rostroculodes borealis</i> (Boeck, 1871)	4	5	-	17	-	-	11	-
<i>Sclerocrangon boreas</i> (Phipps, 1774)	< 1	-	4	-	-	-	-	-
<i>Socarnes vahli</i> (Krøyer, 1838)	1	-	8	-	-	-	-	+
<i>Spirontocaris spinus</i> (Sowerby, 1805)	< 1	2	-	-	-	-	-	-
<i>Tryphosella nanoides</i> (Liljeborg, 1865)	6	-	33	-	-	-	-	-
<i>Tryphosites longipes</i> (Bate et Westwood, 1861)	8	-	-	33	-	13	22	-
<i>Uromunna petiti</i> (Amar, 1948)	3	-	8	-	-	-	-	+
<i>Verruca stroemia</i> (Müller, 1776)	29	19	58	-	83	33	-	+
Класс Pycnogonida								
<i>Phoxichilidium femoratum</i> (Rathke, 1799)	1	5	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudopallene circularis</i> (Goodsir, 1842)	10	5	42	-	-	-	-	+

<i>Pseudopallene spinipes</i> (Fabricius, 1780)	3	–	8	–	–	–	–	–	+
Тип Mollusca									
Класс Bivalvia									
<i>Arctica islandica</i> (L., 1767)	14	–	8	17	–	47	11	–	
<i>Astarte borealis</i> (Schumacher, 1817)	11	–	–	–	–	33	44	–	
<i>Astarte elliptica</i> (Brown, 1827)	12	–	–	–	–	53	11	–	
<i>Astarte montagui</i> (Dillwyn, 1817)	3	–	–	–	–	13	–	–	
<i>Axinopsida orbiculata</i> (G. O. Sars, 1878)	17	–	8	67	17	27	–	+	
<i>Chlamys islandica</i> (Müller, 1776)	32	29	75	2	100	22	2	+	
<i>Crenella decussata</i> (Montagu, 1808)	40	5	33	50	17	100	100	–	
<i>Ennucula tenuis</i> (Montagu, 1808)	6	–	–	–	–	–	67	–	
<i>Heteranomia squamula</i> (L., 1758)	50	74	83	–	100	33	–	+	
<i>Hiatella arctica</i> (L., 1767)	56	86	83	–	100	33	11	+	
<i>Kurtiella bidentata</i> (Montagu, 1803)	1	–	–	–	–	–	11	–	
<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin, 1791)	49	52	33	17	33	73	100	–	
<i>Mendicula ferruginosa</i> (Forbes, 1844)	3	–	–	–	–	13	–	–	
<i>Modiolus modiolus</i> (L., 1758)	11	10	51	17	30	20	–	+	
<i>Musculus laevigatus</i> (Gray, 1824)	6	–	–	33	–	–	–	+	
<i>Mya truncata</i> L., 1758	36	24	33	50	17	40	89	+	
<i>Mytilus edulis</i> L., 1758	57	100	50	67	33	60	–	+	
<i>Nuculana pernula</i> (Müller, 1779)	8	–	17	–	17	7	22	–	
<i>Parvicardium pinnulatum</i> (Conrad, 1831)	40	24	33	17	83	60	89	–	
<i>Palliolum tigerinum</i> (Müller, 1776)	< 1	–	–	–	–	2	–	–	
<i>Spisula elliptica</i> (Brown, 1827)	3	–	–	5	–	–	–	–	
<i>Thracia myopsis</i> Møller, 1842	6	–	8	–	–	20	–	–	
<i>Thyasira gouldi</i> (Philippi, 1845)	8	–	8	–	–	20	22	–	
<i>Yoldiella lenticula</i> (Møller, 1842)	3	–	–	–	–	–	22	–	
<i>Yoldiella nana</i> (M. Sars, 1865)	1	–	–	–	–	–	11	–	
Класс Gastropoda									
<i>Acanthodoris pilosa</i> (Abildgaard in Müller, 1789)	< 1	2	–	–	–	–	–	–	
<i>Akera bullata</i> Müller, 1776	4	–	–	–	–	–	44	–	
<i>Astyris rosacea</i> (Gould, 1840)	1	–	8	–	–	–	–	–	
<i>Boreotrophon clathratus</i> (L., 1767)	3	–	8	17	–	–	–	–	
<i>Boreotrophon truncatus</i> (Strøm, 1768)	15	19	33	17	–	7	–	+	
<i>Buccinum cyaneum</i> Bruguière, 1792	7	24	–	–	–	–	–	–	
<i>Buccinum undatum</i> (L., 1758)	4	10	7	–	8	1	1	+	
<i>Buccinum finmarkianum</i> Verkrüzen, 1875	< 1	7	–	–	–	–	–	–	
<i>Cephalaspidea</i> g. sp.	1	–	–	–	–	–	11	–	
<i>Cryptonatica affinis</i> (Gmelin, 1791)	1	–	–	–	–	–	11	–	
<i>Curtitoma trevelliana</i> (Turton, 1834)	1	–	–	–	–	7	–	–	
<i>Cylichna alba</i> (Brown, 1827)	1	–	–	–	–	7	–	–	
<i>Diaphana minuta</i> (Brown, 1827)	6	5	17	–	17	–	–	–	
<i>Doris pseudoargus</i> Rapp, 1827	< 1	2	–	–	–	–	–	–	
<i>Epheria vincta</i> (Montagu, 1803)	32	52	67	17	–	13	–	+	
<i>Gibbula tumida</i> (Montagu, 1803)	7	–	8	17	–	20	–	–	
<i>Gibbula cineraria</i> (L., 1758)	1	–	8	–	–	–	–	–	
<i>Iothia fulva</i> (O. F. Müller, 1776)	4	–	8	–	17	7	–	–	



<i>Lacuna pallidula</i> (da Costa, 1778)	3	5	–	–	–	–	–	+
<i>Laona finmarchica</i> (M. Sars, 1859)	4	–	–	–	–	20	–	–
<i>Lepeta caeca</i> (Müller, 1776)	12	–	8	–	–	53	–	–
<i>Littorina littorea</i> (L., 1758)	1	5	–	–	–	–	–	–
<i>Littorina obtusata</i> (L., 1758)	1	5	–	–	–	–	–	–
<i>Littorina</i> cf. <i>saxatilis</i> (Olivi, 1792)	4	10	–	–	–	7	–	–
<i>Margarites helycinus</i> (Phipps, 1774)	43	71	67	33	67	13	–	+
<i>Margarites striatus</i> (Leach, 1819)	17	19	33	–	–	13	–	+
<i>Moelleria costulata</i> (Møller, 1842)	8	–	17	–	–	27	–	–
<i>Nassarius incrassatus</i> (Strøm, 1768)	1	–	8	–	–	–	–	–
<i>Neptunea despecta</i> (L., 1758)	1	–	2	–	–	1	3	–
<i>Nucella lapillus</i> (L., 1758)	3	10	–	–	–	–	–	–
Nudibranchia g. sp.	6	5	8	–	17	–	–	+
<i>Odostomia turrata</i> Hanley, 1844	15	14	58	–	17	–	–	–
<i>Omalogyra</i> cf. <i>atomus</i>	18	52	8	–	–	7	–	–
<i>Onoba aculeus</i> (Gould, 1841)	12	29	8	–	–	–	22	–
<i>Onoba semicostata</i> (Montagu, 1803)	65	86	83	17	83	60	89	+
<i>Peringia ulvae</i> (Pennant, 1777)	1	5	–	–	–	–	–	–
Philinidae g. sp.	4	–	8	–	–	–	22	–
<i>Propebela</i> sp.	3	–	–	–	–	7	11	–
<i>Puncturella noachina</i> (L., 1771)	25	19	50	–	83	20	–	+
Pyramidellidae g. sp.	3	–	–	17	–	–	11	–
<i>Retusa pellucida</i> (Brown, 1827)	3	–	–	–	–	–	22	–
<i>Retusa turrata</i> (Møller, 1842)	6	–	–	–	–	–	67	–
<i>Rissoa parva</i> (da Costa, 1778)	17	19	17	–	17	–	11	+
<i>Rissoella globularis</i> (Jeffreys in Forbes et Hanley, 1853)	7	–	–	–	–	–	56	–
<i>Skenea</i> sp.	3	5	–	17	–	–	–	–
<i>Skeneopsis planorbis</i> (Fabricius, 1780)	12	19	17	50	–	–	–	–
<i>Tectura virginea</i> (Müller, 1776)	21	19	25	–	67	33	–	–
<i>Testudinalia tessullata</i> (Müller, 1776)	25	62	17	–	–	20	–	+
<i>Velutina velutina</i> Müller, 1776	4	10	8	–	–	7	–	–
Класс Polyplacophora								
<i>Stenosemus albus</i> (L., 1767)	3	–	–	–	–	13	–	–
<i>Tonicella marmorea</i> (Fabricius, 1780)	18	19	25	–	33	27	–	–
<i>Tonicella rubra</i> (L., 1767)	11	14	25	–	–	7	–	+
Класс Caudofoveata								
Caudofoveata g. sp.	4	5	–	–	–	7	11	–
Тип Echinodermata								
Класс Asteroidea								
<i>Asterias rubens</i> L., 1758	5	10	8	2	8	7	–	+
<i>Hippasteria phrygiana</i> (Parelius, 1768)	1	–	–	–	–	3	–	–
Класс Echinoidea								
<i>Echinus esculentus</i> L., 1758	2	2	8	–	–	6	–	–
<i>Strongylocentrotus droebachiensis</i> Müller, 1776	13	38	67	33	67	47	–	+
<i>Strongylocentrotus pallidus</i> (G. O. Sars, 1871)	4	3	8	–	4	8	–	–

Класс Holothuroidea								
<i>Cucumaria frondosa</i> (Gunnerus, 1867)	< 1	2	–	–	–	–	–	–
<i>Ekmania barthi</i> (Troschel, 1846)	1	–	8	–	–	–	–	–
<i>Labidoplax buski</i> (McIntosh, 1866)	1	–	–	–	–	7	–	–
<i>Psolus phantapus</i> Strussenfelt, 1765	3	–	–	–	17	7	–	–
<i>Psolus squamatus</i> (Müller, 1776)	1	–	–	–	–	7	–	–
<i>Psolus</i> sp.	4	5	–	–	–	7	–	–
Класс Ophiuroidea								
<i>Ophiopholis aculeata</i> (L., 1767)	51	76	75	–	83	47	–	+
<i>Ophiura robusta</i> (Ayers, 1851)	58	71	75	33	83	67	11	+
Тип Bryozoa								
Класс Gymnolaemata								
<i>Aquiloniella scabra</i> (Van Beneden, 1848)	39	38	75	50	83	13	–	+
<i>Alcyonidium albidum</i> Alder, 1857	8	24	8	–	–	–	–	+
<i>Alcyonidium irregulare</i> Kluge, 1962	4	5	8	–	17	–	–	–
<i>Amphiblestrum septentrionalis</i> (Kluge, 1906)	10	5	25	17	33	–	–	–
<i>Amphiblestrum solidum</i> (Packard, 1863)	1	–	8	–	–	–	–	–
<i>Arctonula arctica</i> (M. Sars, 1851)	1	–	–	–	17	–	–	–
<i>Bathysoecia polygonalis</i> (Kluge, 1952)	3	–	8	–	–	7	–	–
<i>Bowerbankia caudata</i> (Hincks, 1877)	3	–	8	–	–	–	–	+
<i>Bowerbankia imbricata</i> (Adams, 1798)	12	14	33	–	33	–	–	–
<i>Caberea ellisii</i> (Fleming, 1814)	1	–	–	–	17	–	–	–
<i>Callopora craticula</i> (Alder, 1856)	21	14	75	–	33	7	–	+
<i>Callopora lineata</i> (L., 1767)	31	52	67	–	17	–	–	+
<i>Copidozoum smitti</i> (Kluge, 1946)	6	5	25	–	–	–	11	–
<i>Callopora weslawski</i> Kuklinski & Taylor, 2006	3	–	–	17	–	7	–	–
<i>Celleporella hyalina</i> (L., 1767)	33	38	75	33	17	7	11	+
<i>Celleporina ventricosa</i> (Lorenz, 1886)	3	–	–	–	–	13	–	–
<i>Cribrilina annulata</i> (Fabricius, 1780)	17	29	33	–	–	7	–	+
<i>Cribrilina cryptooecium</i> Norman, 1903	1	–	–	–	–	7	–	–
<i>Cribrilina watersi</i> Andersson, 1902	1	5	–	–	–	–	–	–
<i>Crisia eburnea</i> (L., 1758)	1	–	–	–	–	–	–	+
<i>Crisia eburneodenticulata</i> Smitt ms in Busk, 1875	1	–	–	–	17	–	–	–
<i>Crisiella diversa</i> (Kluge, 1955)	4	–	–	17	–	–	–	+
<i>Crisiella producta</i> (Smitt, 1865)	11	24	8	–	–	–	–	+
<i>Crisularia harmsworthi</i> (Waters, 1900)	1	–	–	–	17	–	–	–
<i>Cylindroporella tubulosa</i> (Norman, 1868)	4	5	17	–	–	–	–	–
<i>Dendrobeatia fessa</i> Kluge, 1955	8	–	25	–	67	–	–	–
<i>Dendrobeatia fruticosa</i> (Packard, 1863)	19	14	67	–	33	–	–	+
<i>Dendrobeatia fruticosa quadridentata</i> (Loven, 1834)	19	–	50	17	50	–	–	+
<i>Dendrobeatia frigida</i> (Waters, 1900)	1	–	–	–	–	–	–	+
<i>Dendrobeatia murrayana</i> (Bean in Johnston, 1847)	35	–	83	33	50	20	–	+

<i>Dendrobeatia pseudomurrayana</i> Kluge, 1955	3	–	–	–	33	–	–	–
<i>Dendrobeatia pseudomurrayana tenuis</i> Kluge, 1955	4	–	8	–	33	–	–	–
<i>Doryporella spathulifera</i> (Smitt, 1868)	3	–	–	–	33	–	–	–
<i>Electra pilosa</i> (L., 1767)	32	48	67	–	67	–	–	+
<i>Escharella immersa</i> (Fleming, 1828)	31	–	50	100	67	40	–	+
<i>Escharella ventricosa</i> (Hassall, 1842)	3	–	–	–	17	7	–	–
<i>Escharopsis lobata</i> (Lamouroux, 1821)	1	–	–	17	–	–	–	–
<i>Eucratea loricata</i> (L., 1758)	22	19	17	33	–	27	44	+
<i>Filicrisia geniculata</i> (Milne-Edwards, 1838)	17	24	25	–	67	–	–	+
<i>Filicrisia smitti</i> (Kluge, 1946)	4	–	8	–	–	13	–	–
<i>Hippoporella hippopus</i> (Smitt, 1868)	1	–	–	–	–	7	–	–
<i>Hippoporina reticulatopunctata</i> (Hincks, 1877)	7	5	17	17	17	–	–	–
<i>Hippothoa arctica</i> Kluge, 1906	1	5	–	–	–	–	–	–
<i>Hippothoa expansa</i> Dawson, 1859	1	5	–	–	–	–	–	–
<i>Hornera lichenoides</i> (L., 1758)	1	–	–	–	–	7	–	–
<i>Lepraliella contigua</i> (Smitt, 1868)	7	–	–	33	–	20	–	–
<i>Microporella arctica</i> Norman, 1903	10	–	–	50	–	20	–	+
<i>Oncousoecia canadensis</i> Osburn, 1933	6	–	8	17	–	7	–	+
<i>Oncousoecia diastoporides</i> (Norman, 1869)	3	–	17	–	–	–	–	–
<i>Oncousoecia</i> sp.	4	–	–	–	17	7	–	–
<i>Patinella verrucaria</i> (L., 1758)	39	38	83	17	83	20	–	+
<i>Porella belli</i> (Dawson, 1859)	3	–	8	–	–	7	–	–
<i>Porella concinna</i> (Busk, 1854)	4	–	8	17	–	7	–	–
<i>Porella smitti</i> Kluge, 1907	11	10	17	–	–	20	–	–
<i>Porella struma</i> (Norman, 1868)	1	–	–	–	–	7	–	–
<i>Ragionula rosacea</i> (Busk, 1856)	12	–	–	50	–	40	–	–
<i>Raymondia majuscula</i> (Smitt, 1867)	1	–	–	–	17	–	–	–
<i>Rhaphostomella bilaminata</i> (Hincks, 1877)	8	–	42	–	–	–	–	–
<i>Rhaphostomella ovata</i> (Smitt, 1868)	4	5	17	–	–	–	–	–
<i>Rhaphostomella plicata</i> (Smitt, 1868)	7	14	–	17	–	–	–	–
<i>Rhaphostomella radiatula</i> (Hincks, 1877)	19	24	50	17	–	7	–	+
<i>Rhaphostomella sibirica</i> Kluge, 1929	3	5	8	–	–	–	–	–
<i>Schizomavella auriculata</i> (Hassall, 1842)	3	–	–	17	–	–	–	+
<i>Schizomavella auriculata lineata</i> (Nordgaard, 1896)	8	–	25	17	17	–	–	+
<i>Schizomavella porifera</i> (Smitt, 1868)	6	–	8	–	50	–	–	–
<i>Schizoporella pachystega</i> Kluge, 1929	1	–	–	17	–	–	–	–
<i>Scrupocellaria minor</i> Kluge, 1915	3	–	–	–	17	7	–	–
<i>Smittina minuscula</i> (Smitt, 1868)	4	–	8	17	17	–	–	–
<i>Smittina pseudoacutirostris</i> Gostilovskaya, 1957	1	–	–	–	–	7	–	–
<i>Stomachetosella</i> sp.	1	–	–	17	–	–	–	–
<i>Tegella arctica</i> (d'Orbigny, 1853)	40	33	58	100	33	33	–	+
<i>Tegella unicornis</i> (Fleming, 1828)	1	5	–	–	–	–	–	–
<i>Tricellaria elongata</i> (Smitt, 1868)	44	57	58	33	67	47	–	+

<i>Tricellaria gracilis</i> (Van Beneden, 1848)	31	29	58	–	67	20	22	+
<i>Tricellaria ternata</i> (Ellis et Solander, 1786)	19	5	25	–	17	7	–	+
<i>Tubulipora flabellaris</i> (Fabricius, 1780)	17	14	50	–	33	7	–	+
Тип Chordata								
Класс Ascidiacea								
<i>Ascidia prunum</i> Müller, 1776	3	–	17	–	–	–	–	–
<i>Ascidia obliqua</i> Alder, 1863	1	5	–	–	–	–	–	–
<i>Boltenia echinata</i> (L., 1767)	3	5	–	–	–	–	–	+
<i>Ciona intestinalis</i> (L., 1767)	2	14	42	33	–	–	–	+
<i>Cnemidocarpa rhizopus</i> (Redikorzev, 1907)	1	–	–	–	–	7	–	–
<i>Eugyra glutinans</i> (Moeller, 1842)	4	–	8	33	–	–	–	–
<i>Halocynthia pyriformis</i> (Rathke, 1806)	3	5	–	–	–	–	–	+
<i>Molgula manhattensis</i> (De Kay, 1843)	4	5	8	–	–	–	–	+
<i>Molgula siphonalis</i> Kiaer, 1896	3	5	–	–	–	–	–	+
<i>Pelonaia corrugata</i> Goodsir et Forbes, 1841	1	–	8	–	–	–	–	–
<i>Styela rustica</i> (L., 1767)	17	19	50	–	–	7	–	+

\*Частота встречаемости не приводится.

ПРИМЕЧАНИЕ. 1 – *Mytilus edulis*, 2a – *Modiolus modiolus* (вариант a), 2b – *Modiolus modiolus* (вариант b), 3 – *Balanus balanus*, 4 – *Chlamys islandica*, 5 – *Macoma calcarea* + *Cistenides granulata*.

Среднее значение видовой плотности на станциях составило 77. Наибольшее число видов отмечено на смешанных грунтах на глубине 10 м разреза 3 – 131, наименьшее – на такой же глубине на песчаном грунте разреза 1 – 41 (рис. 2а). В целом видовая плотность на станциях варьировала, но в случайном порядке, никакой зависимости числа видов от глубины, гидрологических параметров, типа грунта, наличия или отсутствия макрофитов не было выявлено.

Среднее значение индекса Шеннона составило  $4.2 \pm 0.7$  (рис. 2б). Значения больше 5 характерны для глубоководных станций по правому берегу Кольского залива, наиболее низкие значения (2.8–3.0) – по левому берегу на глубине 5 м. Средние значения индекса выравненности составили  $0.67 \pm 0.11$  при варьировании от 0.48 до 0.88. Наиболее низкие и наиболее высокие значения индекса Пиелу характерны центральной части залива, причем минимальные значения свойственны мелководным станциям, максимальные – глубоководным. Значения Н' и J' показали слабую прямую связь только с глубиной ( $r = 0.69$  и  $0.65$  соответственно,  $p < 0.01$ ).

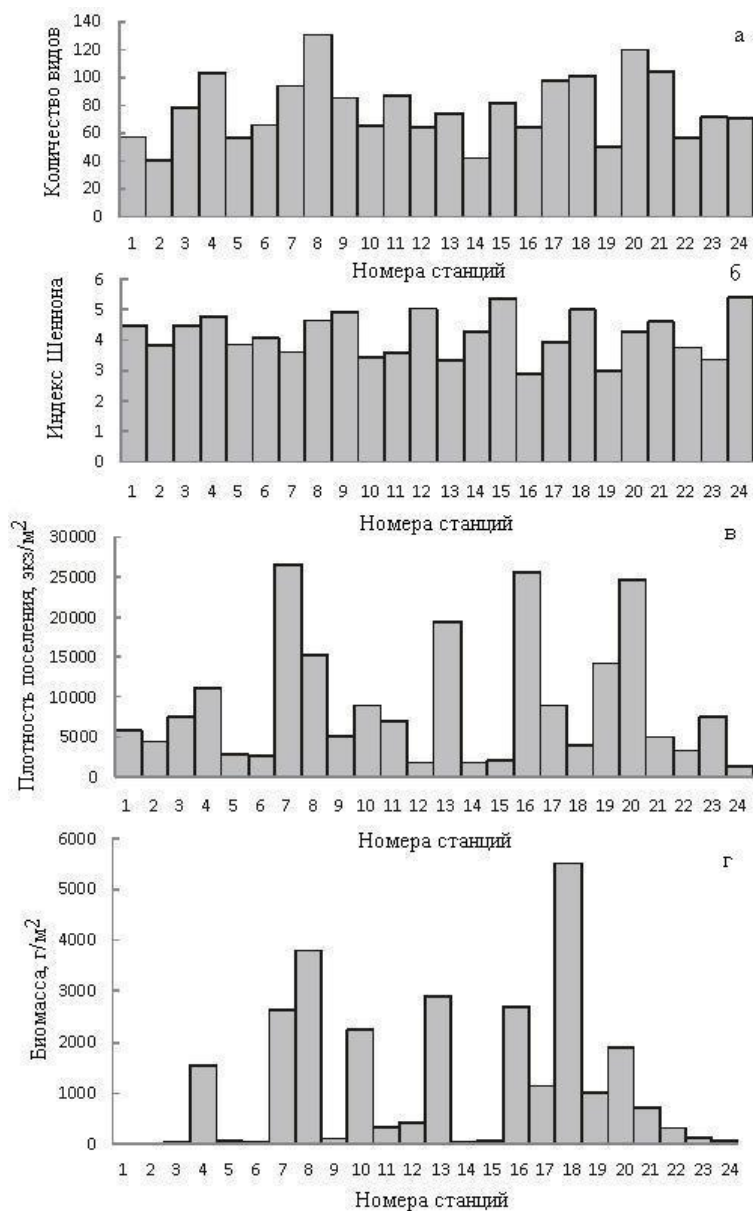


Рис. 2. Количественные показатели бентоса  
 Fig. 2. Quantitative parameters of a benthos

**Количественные показатели распределения.** В мелководной зоне исследуемого района только 10 видов зообентоса (2.6 % от всего количества) встретились более чем на половине станций (ЧВ от 50 до 65 %). Это полихеты *Glycera capitata*, *Circeis armoricana*, *Pholoe* sp. и *Nereimyra punctata*, моллюски *Onoba semicostata*, *Mytilus edulis*, *Hiatella arctica*, иглокожие *Ophiura robusta* и *Ophiopholis aculeata*. Встречаемость от 25 до 50 % отмечена

у 12 % видов. На редкие виды (зарегистрированы только на одной станции) приходится 25 % от всего таксономического разнообразия.

Основу бентофауны по численности составили полихеты (37 %), двустворчатые (25 %) и брюхоногие моллюски (19 %). Доля этих групп в общей численности менялась в зависимости от биотопа. На мягких грунтах доля полихет возрастала до 50 %, двустворчатых и брюхоногих моллюсков снижалась до 21 и 13 % соответственно, на твердом субстрате полихеты составляли 24 %, двустворчатые моллюски – 30 %, брюхоногие моллюски – 28 %. В период исследования максимальные средние показатели численности зафиксированы у брюхоногих моллюсков *O. semicostata* (11 % суммарной численности видов), двустворчатых моллюсков *M. edulis* (10 %) и полихет *C. armoricana* (7 %). На станциях 7, 16, 20 эти три вида формировали до 40–66 % суммарной численности. Средняя плотность поселения беспозвоночных составляла 9020 экз/м<sup>2</sup> (1270–26600 экз/м<sup>2</sup>) (рис. 2в). Максимальные значения были отмечены на глубине 5 м станций 7 (разрез 3) и 19 (разрез 7).

Основу фауны по биомассе на мягких и твердых грунтах составляли двустворчатые моллюски (60 %). На долю *M. edulis* приходилось до 21 %, *M. modiolus* – 17 % средней биомассы бентоса. В среднем биомасса на станциях составляла 1150 г/м<sup>2</sup>. Разброс показателей биомассы на станциях был значительным (рис. 2г): на твердых грунтах – от 60 до 3790 г/м<sup>2</sup> (в среднем 1730 г/м<sup>2</sup>), на мягких – от 13 до 5500 г/м<sup>2</sup> (в среднем 710 г/м<sup>2</sup>). Плотность поселения и биомасса показывают положительную слабую, но достоверную, связь только со степенью развития водорослевого покрова (соответственно,  $r = 0.51$ ,  $p = 0.01$  и  $r = 0.57$ ,  $p < 0.01$ ).

**Донные сообщества.** В результате кластеризации данных на уровне сходства 0.5 выделено 5 группировок, объединивших станции со схожими видовым составом и интенсивностью метаболизма таксонов (рис. 3). Наиболее высокое сходство отмечено у станций с доминированием мидий. Станции 9, 14, 15, 23, 24 (на песках с галькой и отдельными валунами) довольно существенно отличались от остальных (на уровне 0.18). В силу неоднородности субстрата невелико было видовое сходство и между ними. Общими для этих станций были 100 %-я встречаемость и доминирование или субдоминирование по биомассе крупных двустворчатых моллюсков *C. islandica* и полихет *G. capitata*, а также моллюсков *A. elliptica* и *C. d. decussata*. Поэтому данные станции были объединены в группу с преобладанием в сообществе *C. islandica*. Станция 4 в силу каких-то статистических причин не попала ни в одну группировку, она будет рассматриваться самостоятельно.

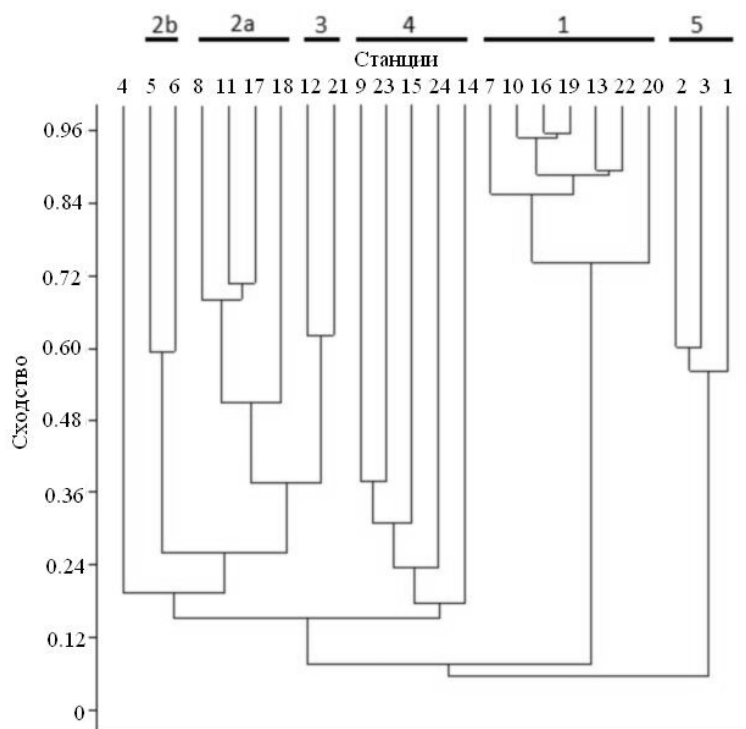


Рис. 3. Дендрограмма сходства станций по уровню метаболизма:

Донные сообщества: 1– *Mytilus edulis*, 2a – *Modiolus modiolus* (вариант а), 2b – *Modiolus modiolus* (вариант b), 3 – *Balanus balanus*, 4 – *Chlamys islandica*, 5 – *Macoma calcarea* + *Cistenides granulata*

Fig. 3. Dendrogram resulting from clustering of stations, using metabolism level:

Zoobenthic communities: 1– *Mytilus edulis*, 2a – *Modiolus modiolus* (variant a), 2b – *Modiolus modiolus* (variant b), 3 – *Balanus balanus*, 4 – *Chlamys islandica*, 5 – *Macoma calcarea*+*Cistenides granulata*

Всего было выделено пять донных сообществ, из которых три сообщества неподвижных сестонофагов – *M. edulis*, *M. modiolus* (два варианта) и *B. balanus*, одно сообщество подвижных сестонофагов – *C. islandica* и одно сообщество собирающих детритофагов – *M. calcarea* + *C. granulata*.

Сообщество двустворчатых моллюсков *M. edulis* очень широко распространено в верхней сублиторали залива. Оно расположено по склонам дна от границы литорали до глубины 7–8 м (иногда до 10 м) в виде пояса. Под водой очень легко узнаваемо водолазами по плотным поселениям ключевого вида беспозвоночных. Мидии заселяют участки со скальным или каменисто-валунным грунтом (чаще всего с зарослями ламинариевых водорослей), а иногда – песчано-галечным (разрез б). Биомасса зообентоса в этом сообществе сформирована почти исключительно эпи- и онфаунными видами беспозвоночных. Доля доминирующего вида *M. edulis* весьма значительна (табл. 3). Максимальная биомасса мидий, равная 3670 г/м<sup>2</sup>, при плотности



поселения 2980 экз/м<sup>2</sup> обнаружена на глубине 5 м разреза 4. В данном сообществе численность входящих в него видов распределена наиболее неравномерно, о чем свидетельствует самое низкое значение индекса Пиелу (табл. 3). Список характерных видов (в порядке убывания индекса плотности) выглядит следующим образом: *B. crenatus*, *H. arctica*, *B. balanus*, *S. rustica*. Вклад этих видов в общую биомассу составляет 90 %, в общий метаболизм – 87 %. Редкие виды, только один раз встретившиеся в пробах с доминированием мидий, составляют почти треть всего видового списка (34 %). Индекс экологического стресса на станциях данной группы варьировал от –0.13 до –0.48.

Таблица 3

**Характеристика донных сообществ  
верхней сублиторали Кольского залива, М±m**

Table 3

**Community characteristics of the Kola Bay's subtidal zone, M±m**

Характеристика	Сообщества		
	1	2a	2b
Количество видов	184	188	90
Видовая плотность, видов на станцию	75±9	104±9	61±5
Доминирующая группа по количеству видов	Полихеты (31 %)	Мшанки (29 %)	Полихеты (30 %)
Плотность поселения, экз/м <sup>2</sup>	17550±3415	8760±2395	2650±845
Биомасса, г/м <sup>2</sup>	1950±360	2190±860	35±13
Доминант по плотности поселения	<i>M. edulis</i> (29 %)	<i>C. armoricana</i> (23 %)	<i>O. limacina</i> (21 %)
Доминант по биомассе	<i>M. edulis</i> (66 %)	<i>M. modiolus</i> (53 %)	<i>M. modiolus</i> (68 %)
Доминант по относительной интенсивности метаболизма	<i>M. edulis</i> (80 %)	<i>M. modiolus</i> (51 %)	<i>M. modiolus</i> (29 %), <i>G. capitata</i> (29 %)
Индекс Шеннона H'	3.5±0.2	4.3±0.3	3.4±0.1
Индекс Пиелу J'	0.56±0.02	0.64±0.04	0.67±0.01
Индекс экологического стресса D <sub>E</sub>	-0.30±0.04	-0.32±0.08	-0.31±0.07
Станции, на которых отмечено сообщество	3-1, 4-1, 5-1, 6-1, 7-1, 7-2, 8-1	3-2, 4-2, 6-2, 6-3	2-2, 2-3

Характеристика	Сообщества		
	3	4	5
Количество видов	129	173	99
Видовая плотность, видов на станцию	84±20	80±8	59±11
Доминирующая группа по количеству видов	Полихеты (33 %)	Полихеты (34 %)	Полихеты (40 %)
Плотность поселения, экз/м <sup>2</sup>	3330±970	3560±1050	5970±900
Биомасса, г/м <sup>2</sup>	560±150	75±15	25±5
Доминант по плотности поселения	<i>O. semicostata</i> (17 %)	<i>O. semicostata</i> (23 %)	<i>M. calcarea</i> (16 %)
Доминант по биомассе	<i>B. balanus</i> (47 %)	<i>C. islandica</i> (16 %)	<i>M. calcarea</i> (14 %)
Доминант по относительной интенсивности метаболизма	<i>C. islandica</i> (33 %)	<i>C. islandica</i> (13 %)	<i>C. decussata</i> (13 %)
Индекс Шеннона H'	4.8±0.2	4.6±0.4	4.3±0.2
Индекс Пиелу J'	0.76±0.08	0.74±0.06	0.73±0.02
Индекс экологического стресса D <sub>E</sub>	-0.41±0.03	-0.22±0.07	-0.06±0.01
Станции, на которых отмечено сообщество	4-3, 7-3	3-3, 5-2, 5-3, 8-2, 8-3	1-1, 1-2, 1-3

ПРИМЕЧАНИЕ. M±m – среднее±ошибка среднего; 1 – *Mytilus edulis*, 2a – *Modiolus modiolus* (вариант а), 2b – *Modiolus modiolus* (вариант б), 3 – *Balanus balanus*, 4 – *Chlamys islandica*, 5 – *Macoma calcarea* + *Cistenides granulata*.

Сообщество двустворчатых моллюсков *M. modiolus* сменяет сообщество мидий по мере увеличения глубины с 9 до 20 м, снижения гидродинамики и уменьшения амплитуды сезонных и суточных колебаний солености и температуры воды. Отмечено на валунах или песке с ракушей и галькой. В районе исследований отмечено два варианта сообщества *M. modiolus* (а и б). Вариант а – сообщество *M. modiolus* распространено на склонах с уклоном в 30–45°, сложенных валунами, часто поросшими макрофитами, или песком с ракушей и галькой. Характеризуется достаточно высокими показателями видового разнообразия и видовой плотности, а также обилием беспозвоночных (табл. 3). Представители эпифауны создают здесь 80 % биомассы зообентоса. На отдельных участках *M. modiolus* образует поселения плотностью до 260 экз/м<sup>2</sup> (в среднем 70±27 экз/м<sup>2</sup>). Максимальные биомасса (13350 г/м<sup>2</sup>) и плотность (160 экз/м<sup>2</sup>) *M. modiolus* зарегистрированы на глубине 10 м разреза б. Характерные виды в биоценозе – *C. islandica*, *H. squamula*, *H. arctica*, *A. islandica*, *S. triqueter*, *S. droebachiensis*. Доля этих видов вместе с *M. modiolus* в суммарной биомассе составляет 90 %. Им принадлежит и ключевая роль в

метаболизме биоценоза – 86 %. Количество редких видов в сообществе – 38 %. В поселениях крупных моллюсков *M. modiolus* и *C. islandica* встречались особи с высокой продолжительностью жизни (несколько десятков лет у *M. modiolus*, более 14 лет у *C. islandica*). Показатели индекса  $D_E$  были практически такие же, как в предыдущем сообществе (–0.13...–0.49).

Вариант b – сообщество с доминированием *M. modiolus* отмечено на плато из песка и ракуши под валунным свалом в устьевой части Кольского залива в районе разреза 2. Показатели разнообразия и обилия зообентоса в нем ниже (табл. 3), чем в варианте a биоценоза. По видовому составу зообентоса данные сообщества также различаются весьма значительно (табл. 4). Биомасса зообентоса на 80 % сформирована видами эпи- и онфауны. Средняя плотность поселения модиолусов не превышает  $0.6 \pm 0.05$  экз/м<sup>2</sup>. Максимальные значения биомассы в 320 г/м<sup>2</sup> при плотности поселения 5 экз/м<sup>2</sup> отмечены на глубине 10 м. В варианте b данного сообщества обилие видов донных животных распределено наиболее равномерно по сравнению с вышеописанными сообществами, о чем свидетельствует размер индекса Пиелу (табл. 3). Характерные виды с высоким значением индекса плотности – полихеты *G. capitata* и *O. limacina*. Вместе с модиолусом они формируют 77 % общей биомассы, доля в общем метаболизме – 68 %. Редкие виды составляют 53 % фауны. Отметим, что такие распространенные в прибрежье виды двустворчатых моллюсков как *H. squamula* и *H. arctica* на станциях не зарегистрированы. Индекс экологического стресса на станциях составлял –0.24...–0.37.

Таблица 4

**Сходство видового состава ( $K_j$ ) донных сообществ в районе исследования**

Table 4

**Species composition similarity ( $K_j$ ) of the bottom communities**

Сообщество	1	2a	2b	3	4	5
1	1	0.48	0.24	0.38	0.35	0.20
2a	0.48	1	0.26	0.48	0.42	0.20
2b	0.24	0.26	1	0.24	0.30	0.24
3	0.38	0.48	0.24	1	0.36	0.21
4	0.35	0.42	0.30	0.36	1	0.27
5	0.20	0.20	0.24	0.21	0.27	1

ПРИМЕЧАНИЕ. 1 – *Mytilus edulis*, 2a – *Modiolus modiolus* (вариант a), 2b – *Modiolus modiolus* (вариант b), 3 – *Balanus balanus*, 4 – *Chlamys islandica*, 5 – *Macoma calcarea* + *Cistenides granulata*.

Сообщество усоногих раков *B. balanus*. Баянусы образуют самостоятельное сообщество на скальном грунте с глубины 15–20 м. Биомасса зообентоса в нем сформирована также почти исключительно

эпи- и онфаунными видами беспозвоночных (99 %). На долю доминирующего вида приходится в среднем 2 % плотности поселения. Наиболее высокие значения его обилия отмечены на глубине 20 м разреза 7 (плотность поселения – 250 экз/м<sup>2</sup>, биомасса – 910 г/м<sup>2</sup>). Согласно индексу Пиелу, численность входящих в сообщество видов здесь распределена наиболее равномерно (табл. 3). Хотя не исключено, что средние значения биомассы гидробионтов, как и плотности поселения, здесь могут быть занижены, так как водолазы во время отбора проб не всегда могли собрать всех животных с поверхности скалы. Это касается в основном таких плотно прикрепляемых к субстрату животных как моллюски *H. squamula*, усоногие раки, полихеты сем. Serpulidae и Spirorbidae. Характерные виды в данном сообществе – моллюски *H. squamula*, *C. islandica*, *H. arctica* и *M. modiolus*. Вместе с видом-доминантом на них приходится 90 % суммарной биомассы беспозвоночных и 80 % суммарной интенсивности метаболизма. Виды с низкой частотой встречаемости составляют примерно 50 %. Индекс экологического стресса – –0.38...–0.44.

Сообщество двустворчатых моллюсков *C. islandica* в верхней сублиторали залива распространено довольно широко. Обнаружено под свалом на слегка заиленных крупнозернистых песках с примесью гальки или ракуши и валунов. Биомасса сообщества невысока (табл. 3), главная роль в ее создании принадлежит представителям эпи- и онфауны (60 %). Здесь нет ярко выраженных доминантов по биомассе, как в ранее описанных сообществах. Характерными видами здесь являются полихеты *G. capitata*, моллюски *A. islandica*, полихеты *S. triqueter*, моллюски *A. borealis*, *A. elliptica*. Вместе с видом-доминантом они формируют примерно 50 % общей биомассы. В метаболизме сообщества их доля составляет 40 %. Доля редких видов – 43 %. В поселениях *C. islandica* преобладают преимущественно особи 7–9 лет. Индекс экологического стресса на станциях, образующих данное сообщество, изменялся от 0.02 до –0.44, на большинстве станций он составлял более –0.20. Положительное значение индекса отмечено на ст. 23.

Сообщество двустворчатых моллюсков и полихет – *M. calcarea* + *C. granulata* зарегистрировано только на песках и илистых песках обширного мелководья с пологим дном на разрезе 1. Средняя биомасса беспозвоночных в данном сообществе самая низкая (табл. 3), она на 70 % сформирована представителями инфауны. К характерным видам относятся *C. d. decussata*, *S. armiger*, *P. pinnulatum*, они вместе с доминантами формируют 50 % суммарной биомассы и 50 % относительной интенсивности метаболизма. Редкие виды составляют 49 %. Индекс экологического стресса на станциях данной группы варьировал от –0.06 до –0.08.

Как уже отмечалось выше, ст. 4 рассматривается отдельно. Она расположена на валуннике среди зарослей ламинариевых водорослей на

глубине 5 м вблизи выхода из залива. В пробах с этой станции обнаружено не менее 99 видов донных беспозвоночных, образующих поселения с плотностью  $11030 \pm 4730$  экз/м<sup>2</sup> и биомассой  $1530 \pm 900$  г/м<sup>2</sup>. По биомассе доминируют асцидии *S. rustica* (28 %) и морские ежи *S. droebachiensis* (24 %), а по относительной интенсивности метаболизма – полихеты *T. cincinnatus* (12 %), индекс D<sub>E</sub> составляет –0.20.

Таким образом, в прибрежных сообществах Кольского залива по количеству видов доминируют полихеты, иногда – мшанки (табл. 3), по плотности поселения – полихеты (19–61 %) и моллюски (9–69 %), а по биомассе – моллюски (46–89 %), причем всегда это исключительно *Bivalvia*. В биоценозе усоногих раков, как правило, главенствуют ракообразные (48 %).

Доминирование по биомассе двустворчатых моллюсков, являющихся фильтраторами или собирателями детрита, определяет трофическую структуру донных сообществ. В сообществах мидий, модиолусов и баянусов резко доминируют неподвижные сестонофаги (табл. 5). Данная трофическая группировка в биоценозах отличается большим видовым разнообразием (40–51 % от числа видов). На рыхлых грунтах доминирование той или иной пищевой группировки менее ярко выражено. В сообществе *C. islandica* по массе преобладают подвижные сестонофаги (табл. 5), на которых приходится всего 6 % общего числа видов в биоценозе. В сообществе *M. calcarea* + *C. granulata* превалируют собирающие детритофаги (табл. 5), видовое разнообразие которых достигает 25 %.

Таблица 5

**Трофическая структура донных сообществ  
верхней сублиторали Кольского залива, % от биомассы**

Table 5

**Trophic structure of the bottom communities (biomass, %)**

Трофическая группа	Сообщества					
	1	2a	2b	3	4	5
Неподвижные сестонофаги	91.50	64.00	81.00	79.00	20.30	2.20
Подвижные сестонофаги	0.03	28.40	2.20	17.30	37.60	27.60
Собирающие детритофаги	1.10	2.20	3.00	2.10	13.80	36.10
Детритофаги-грунтоеды	0.02	0.01	4.30	0.02	1.80	13.40
Растительные	0.40	4.60	1.20	0.20	6.30	–
Плотоядные	6.8	0.70	8.00	1.20	20.00	19.80
Паразиты	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	–	< 0.01
Неопределенные	0.18	0.06	0.55	0.04	0.20	1.30

ПРИМЕЧАНИЕ. 1 – *Mytilus edulis*, 2a – *Modiolus modiolus* (вариант a), 2b – *Modiolus modiolus* (вариант b), 3 – *Balanus balanus*, 4 – *Chlamys islandica*, 5 – *Macoma calcarea* + *Cistenides granulata*.

Во всех описанных сообществах бореально-арктические виды лидируют по видовому разнообразию, виды бореального происхождения незначительно уступают им (табл. 6). В некоторых биоценозах (например, в поясе мидий), бореальные виды доминируют как по плотности поселения (65 %), так и по биомассе (74 %), в остальных по своему обилию они ненамного уступают бореально-арктическим видам.

Таблица 6

**Биогеографическая структура донных сообществ  
верхней сублиторали Кольского залива, % от общего числа видов**

Table 6

**Biogeographic characteristics of the bottom communities (total number of species, %)**

Биогеографическая группа	Сообщества					
	1	2a	2b	3	4	5
Арктические виды	2.17	5.32	4.45	5.43	4.05	3.06
Бореально-арктические виды	52.17	57.98	54.44	58.91	53.18	50.00
Бореальные виды	35.90	25.00	28.89	24.03	30.06	27.55
Космополиты	3.26	3.72	2.22	3.10	2.89	5.10
Неопределенные виды	6.52	7.98	10.00	8.53	9.83	14.29

ПРИМЕЧАНИЕ. 1 – *Mytilus edulis*, 2a – *Modiolus modiolus* (вариант a), 2b – *Modiolus modiolus* (вариант b), 3 – *Balanus balanus*, 4 – *Chlamys islandica*, 5 – *Macoma calcarea* + *Cistenides granulata*.

**Обсуждение.** В пробах бентоса отмечено примерно 40 % видов, приводимых в монографии К. М. Дерюгина (1915), но мы обследовали только узкую прибрежную полосу северной части Кольского залива до глубины 25 м. Как и 100 лет назад, наибольшее число видов отмечено в тех же группах беспозвоночных (у моллюсков, мшанок, членистоногих и полихет). Больше число видов полихет в рамках нашего исследования вполне объяснимо иными методами отбора проб, предотвращающих потерю мелких видов. Средний уровень информационного разнообразия (H') на станциях северной части залива характерен для ненарушенных экосистем (Gray, 2000). В составе бентоса присутствуют представители мегабентоса, некоторые виды которых играют ключевую роль в мелководных донных сообществах. В целом, еще в процессе сбора материала с помощью водолазов, стало очевидно, что с учетом высокой мозаичности грунтов в мелководной зоне для более точного описания видового состава фауны необходимо более плотное расположение разрезов.

В сообществах северной части залива показатель видовой плотности (альфа-разнообразие) даже на мягких грунтах нередко был выше, чем в других губах и заливах побережья Баренцева моря (Бритаев и др., 2010; Распределение ..., 2012; Деарт, Бритаев, 2014), во фьордах Норвежского

моря (Oug, Noisoeter, 2000) или архипелага Шпицберген (Laudien et al., 2007; Особенности ..., 2011; Kedra et al., 2011), где он составлял 27–70 видов на станцию. Биомасса зообентоса в поясе твердых грунтов отличается довольно высокими значениями, сопоставимыми с таковыми в изученных губах Восточного Мурмана (Современное ..., 2007; Биоразнообразие ..., 2009; Бритаев и др., 2010; Распределение ..., 2012), которые принято считать экологически чистыми из-за отсутствия на их берегах источников загрязнения. На мягких грунтах биомасса зообентоса ниже, особенно в местах, где слабо представлен мегабентос.

На распределение зообентоса влияют глубина моря и степень развития зарослей макрофитов. С увеличением глубины достоверно возростали выравненность обилия видов и, соответственно, информационное разнообразие (индекс Шеннона), а макрофиты, служащие субстратом для многих видов-эпифитов, способствовали увеличению общих показателей численности и биомассы бентоса. Изменчивость гидрологических параметров, тип донного грунта никак не влияли на количественные характеристики зообентоса (плотность поселения и биомассу), точно также последние не зависели от глубины.

Донные сообщества неподвижных сестонофагов, отмеченные на малых глубинах Кольского залива, типичны для прибрежной зоны Баренцева моря, характеризующейся повышенной гидродинамикой. Они распространены в верхней сублиторали залива и в других небольших губах Восточного Мурмана – Долгая, Териберская, Ярнышная, Зеленецкая (Дальнезеленецкая) и Медвежья (Пропп, 1971; Соколов, Штрик, 2003; Современное ..., 2007; Биоразнообразие ..., 2009). На илистых песках во многих губах развиваются разные вариации сообщества *M. calcarea* (Современное ..., 2007; Распределение ..., 2012; Деарт, Бритаев, 2014). Сообщества с доминированием исландского гребешка в других вариациях описаны для Кольского побережья для глубин 70–130 м (Распределение ..., 2012). Вариант б сообщества *M. modiolus* можно рассматривать как переходную зону от варианта а к сообществу *M. modiolus* больших глубин. Последнее у побережья Мурмана и Северной Норвегии является одним из самых обычных донных сообществ, расположенных на крупнозернистых песках и битой ракушке с примесью камней и гальки, на глубине до 100 м (Зацепин, 1962). В других прибрежных районах Мурмана биоценоз *C. islandica* не описан для мелководной зоны, но встречен на глубинах свыше 70 м (Распределение ..., 2012). Структура зообентоса на ст. 4, по-видимому, соответствует одной из стадий сукцессии сообществ обрастания, когда под воздействием факторов внешней среды поселения асцидий *S. rustica* и мидий последовательно сменяют друг друга (Халаман, 2005).

В отличие от других участков побережья (например, Восточного Мурмана), в Кольском заливе мы не выявили сообщество морских ежей *S. droebachiensis*, так как не представилась возможность охватить

исследованиями все биотопическое разнообразие мелководной зоны залива. Между тем биоценозы литотамниона и ламинариевых водорослей, в которых морские ежи выступают доминантами или субдоминантами, весьма характерны для твердых грунтов Мурманского побережья Баренцева моря (Пропп, 1971; Современное ..., 2007; Биоразнообразии ..., 2009).

Бета-разнообразие донных сообществ характеризует степень их различия по видовому составу. Изученные сообщества отличаются друг от друга в различной степени (табл. 4). Наиболее высокое видовое сходство характерно для сообществ неподвижных сестонофагов твердых грунтов, что объясняется схожестью экологических условий, прежде всего субстрата. В поясах мидий и модиолусов (вариант а) высока доля общих видов у двустворчатых моллюсков (64 %), мшанок (58 %) и полихет (53 %), в сообществах баянусов и модиолусов (вариант а) – у двустворок (79 %), полихет (53 %) и мшанок (48 %). Достаточно высокое сходство, видимо, из-за обмена молодью, обнаружено между сообществами *M. modiolus* (вариант а) и *C. islandica*. В них обнаружено большое число общих видов двустворчатых и брюхоногих моллюсков, а также полихет (соответственно 74, 56 и 44 %). В сообществах мягких грунтов количество одинаковых видов несколько ниже. Минимум сходства выявлен между сообществом *M. calcarea* + *C. granulata* и каждым из трех сообществ неподвижных фильтраторов – *M. edulis*, *M. modiolus* (вариант а) и *B. balanus*.

Кольский залив отнесен к наиболее загрязненным участкам морской акватории на Мурманском побережье Баренцева моря. Развитая инфраструктура городов на его берегах, портово-промышленные комплексы, военно-морские базы и затонувшие корабли служат источником нефтяного, химического, радиационного и коммунально-бытового загрязнения вод и донных осадков. Максимальную антропогенную нагрузку залив, особенно его южная часть, испытывал в 1980-е и в начале 1990-х гг., когда численность населения г. Мурманска и других поселений на берегах залива достигала своего исторического максимума. С тех пор снижение численности населения, уменьшение объемов производства и товарооборота рыбного и торгового портов привело к некоторому улучшению экологической ситуации в Кольском заливе. Этому же способствуют сильные приливоотливные течения, благодаря которым происходит снижение уровня загрязнения за счет выноса поллютантов из Кольского залива в открытое море.

Современный уровень антропогенного загрязнения Кольского залива варьирует, причем участки сильного превышения ПДК обычно локальны и, как правило, приурочены к портовым зонам и военным базам. Северная часть залива по ряду показателей вообще может считаться слабо или умеренно загрязненной (Информационный ..., 2013). Повышенное содержание отдельных веществ – ДДТ в донных осадках,



полихлорбифенилов в воде и донных осадках – выявлено в глубоководной зоне этого района (Жилин, 2009; Ильин, 2009; Искусственные ..., 2009; Плотицына, 2009; Семенов и др., 2009). Повышенное содержание некоторых тяжелых металлов в грунте отмечено по периферии главной базы Северного флота (г. Североморск) и на участке севернее мыса Крестовый (Информационный ..., 2013; Шахвердов, Шахвердова, 2016).

При современном уровне загрязнения акватории залива видовое разнообразие зообентоса в изученных сообществах оказалось достаточно высоким. Наиболее высоко оно в поясе *M. modiolus* на твердом грунте, где неоднородность и мозаичность грунта создает большое количество микробиотопов, а гидрологические условия более стабильны. На подавляющем большинстве станций структура донного населения демонстрирует отсутствие стресса, в составе донных сообществ преобладают виды с k-стратегий. Пропорция r- и k-стратегов в составе бентоса нарушена на нескольких станциях (1–3, 23), расположенных на мягких грунтах, что и отразил индекс Де. В поселениях животных на указанных станциях преобладают мелкие многочисленные виды. Величина индекса свидетельствует, что стресс, который испытывает здесь зообентос, незначительный (Денисенко, 2006). Вероятная причина слабо угнетенного состояния зообентоса – не загрязнение окружающей среды, а выедание бентофагами. Во время сбора материала скопления кормящейся молодежи камчатского краба *P. camtschaticus* плотностью до 50 экз/1000 м<sup>2</sup> были обнаружены как раз в пределах сообществ *M. calcarea* + *C. granulata* на разрезе 1 и *C. islandica* на разрезе 8. В первом сообществе скопления молодежи в большом количестве потребляли, прежде всего, двусторчатых моллюсков среднего и довольно крупного размера (с длиной раковины до 15 мм) – *E. tenuis*, *A. islandica*, *M. truncata* и *M. calcarea*. В пределах биоценоза *C. islandica* объекты питания крабов принадлежали к разным таксономическим группам и среди них также встречались достаточно крупные экземпляры (личные наблюдения Л.В. Павловой). Скорее всего, к повышенным по сравнению с фоном показателям индекса экологического стресса на указанных станциях привело изъятие крабами из состава бентоса крупных беспозвоночных. Ранее было показано, что массовые скопления камчатского краба могут снижать биомассу инфаунного бентоса (Павлова, 2008, 2015). Из-за присутствия в Кольском заливе многочисленных бентофагов количественные характеристики бентоса мягких грунтов, в основном биомассы, могут существенно варьировать во времени и пространстве.

Таким образом, сообщества мелководной зоны северной части Кольского залива по показателям биологического разнообразия и количественным характеристикам бентоса существенно не отличаются от сообществ других экологически чистых районов Мурманского побережья. Учитывая относительно слабое влияние антропогенного

фактора на мелководный бентос в северной части Кольского залива, развитие донных сообществ в этом районе определяется, вероятнее всего, естественными причинами. Донные сообщества здесь исторически хорошо адаптированы к изменчивым абиотическим условиям и уровню антропогенной нагрузки, их разнообразие сохранилось на достаточно высоком уровне. Присутствие в составе сообществ долгоживущих видов-эдификаторов (*M. edulis*, *M. modiolus*, *C. islandica*) свидетельствует, что их поселения могут существовать здесь без существенных изменений неограниченно долго. На мягких грунтах состояние донных сообществ не стабильно, есть основание предполагать, что в Кольском заливе биомасса инфауны может варьировать во времени и пространстве (намного чаще и сильнее, чем на твердых грунтах). Полученные данные о современном состоянии донных сообществ верхней сублиторали в дальнейшем послужат базой для оценки возможных изменений, вызванных антропогенным воздействием или климатическими флуктуациями.

Авторы благодарят за помощь при сборе материала водолазов Ю. А. Зуева и С. В. Голдина (Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург) и выражают глубокую признательность за помощь при организации исследований сотрудникам ММБИ КНЦ РАН д.г.н. А. А. Шавыкину, д.б.н. П. Р. Макаревичу, академику Г. Г. Матишову.

Работа выполнена при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» договор № 26/2013 от 02.04.2013 – «Исследования побережья и береговой зоны северной части Кольского залива и разработка карт уязвимости всего залива от нефти» и по теме 9-13-02 (52; 51) в рамках государственного задания № 0228-2018-0002.

## Литература

Алимов А. Ф. Интенсивность обмена у водных пойкилотермных животных // Общие основы изучения водных экосистем. Л.: Наука, 1979. С. 5–20.

Антипова Т. В. Некоторые данные о современном состоянии бентоса Кольского залива // Бентос Баренцева моря. Распределение, экология и структура популяций. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1984. С. 41–47.

Биоразнообразие сообществ твердых грунтов губ Кольского побережья Баренцева моря / А. В. Ржавский, Ю. В. Деарт, Т. А. Бритаев, Л. В. Павлова // Биоразнообразие: результаты и перспективы исследований: Матер. Всерос. заочн. науч. конф. Тамбов: Изд. дом ТГУ, 2009. С. 214–231.

Бируля А. А. Материалы по биологии и зоогеографии преимущественно русских морей. VI. Crustacea Decapoda, собранные Научно-промышленной экспедицией Поморского комитета в 1898 г. у Мурмана. СПб.: Тип. Имп. Акад. наук, 1899. 20 с.

*Бритаев Т. А., Удалов А. А., Ржавский А. В.* Структура и многолетняя динамика сообществ мягких грунтов заливов Баренцева моря // Успехи современной биологии. 2010. Т. 130, № 1. С. 50–62.

*Воробьев В. П.* Бентос Азовского моря. Симферополь: Крымиздат, 1949. 193 с. (Тр. АзЧерНИРО. Вып. 13).

*Герценштейн С. М.* Материалы к фауне Мурманского берега и Белого моря. I. Моллюски // Тр. Имп. Санкт-Петерб. общ-ва естествоиспытателей. 1885. Т. 16, вып. 2. С. 635–814.

*Голиков А. Н., Аверинцев В. Г.* Особенности некоторых донных экосистем в южной части Баренцева моря и у мыса Желания (Новая Земля) // Биология моря. 1977. № 2. С. 63–73.

*Гурьянова Е. Ф.* Биоценоз ламинарий Кольского залива // Тр. Ленингр. общ-ва естествоиспытателей. 1924. Т. 53, № 2. С. 19–24.

*Деарт Ю. В., Бритаев Т. А.* «Новое» донное сообщество с доминированием овениид (*Polyschaeta*, *Oweniidae*) у побережья Мурман: структура и причины появления // Докл. РАН. 2014. Т. 454, № 2. С. 232–236.

*Денисенко С. Г.* Информационная мера Шеннона и ее применение в оценках биоразнообразия (на примере морского зообентоса) // Морские беспозвоночные Арктики, Антарктики и Субантарктики. СПб.: Изд. Зоол. ин-та РАН, 2006. С. 35–46 (Исследования фауны морей. Т. 56(64)).

*Дерюгин К. М.* Фауна Кольского залива и условия ее существования // Зап. Имп. Акад. наук. 1915. Вып. 34, сер. 8. 929 с.

*Донная фауна сублиторали / Е. А. Фролова, Е. Г. Митина, А. В. Гудимов, А. В. Сикорский // Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Апатиты: Изд. КНИЦ РАН, 1997. С. 101–123.*

*Жилин А. Ю.* Полициклические ароматические углеводороды в воде и донных осадках // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. М.: Наука, 2009. С. 291–303.

*Зацепин В. И.* Сообщества фауны донных беспозвоночных мурманского побережья Баренцева моря и их связь с сообществами Северной Атлантики // Тр. Всесоюз. гидробиол. общ-ва. 1962. Т. 12. С. 245–344.

*Зенкевич Л. А., Броцкая В. А.* Материалы по экологии руководящих форм бентоса Баренцева моря // Уч. зап. МГУ. 1937. Вып. 13, № 3. С. 203–236.

*Зообентос литорали и сублиторали. Количественное распределение, пространственно-временная изменчивость / О. С. Любина, О. Ю. Ахметчина, Е. А. Фролова и др. // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. М.: Наука, 2009. С. 161–182.*

*Ильин Г. В.* Геохимические особенности накопления алифатических углеводородов // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. М.: Наука, 2009. С. 313–318.

*Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2012 г. СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 112 с.*

*Искусственные радионуклиды в экосистеме / Д. Г. Матишов, Н. Е. Касаткина, И. С. Усягина и др. // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. М.: Наука, 2009. С. 318–332.*

*Линко А. К.* Гидроиды // Фауна России и сопредельных стран. Т. 1. СПб.: Изд-во Имп. Акад. наук, 1911. 255 с.

Линко А. К. Гидроиды // Фауна России и сопредельных стран. Т. 2. СПб.: Изд-во Имп. Акад. наук, 1912. 142 с.

Озерецковский Н. Я. Описание города Колы, что в Российской Лапландии // Описание Колы и Астрахани. СПб.: Изд-во Имп. Акад. наук, 1804. С. 1–82.

Особенности распределения бентосных сообществ во фьордах Шпицбергена / О. С. Любина, О. Л. Зими́на, Е. А. Фролова и др. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 1(87). С. 28–40.

Павлова Л. В. Влияние молоди камчатского краба на зообентос Кольского залива (Баренцево море) // Докл. РАН. 2008. Т. 422, № 1. С. 138–141.

Павлова Л. В. Экологический рацион камчатского краба в прибрежной мелководной зоне Баренцева моря // Докл. РАН. 2015. Т. 463, № 2. С. 244–249.

Павлова Л. В., Зуев Ю. А., Фролов А. А. Особенности биоценозов верхней сублиторали // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. М.: Наука, 2009. С. 142–161.

Плотицына Н. Ф. Персистентные хлорированные углеводороды в воде и донных осадках Кольского залива // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. М.: Наука, 2009. С. 303–313.

Пропп М. В. Экология прибрежных донных сообществ Мурманского побережья Баренцева моря по материалам водолазных гидробиологических работ. Л.: Наука, 1971. 128 с.

Распределение зообентоса на мягких грунтах в губах Ивановская и Дроздовка Восточного Мурмана (Баренцево море) / О. С. Любина, О. Л. Зими́на, Е. А. Фролова и др. // Докл. РАН. 2012. Т. 447, № 2. С. 230–234.

Редикорцев В. В. Асцидии Мурманского побережья // Тр. Санкт-Петерб. общ-ва естествоиспытателей. 1908. Т. 39, вып. 1. С. 19–38.

Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений / Под ред. А. В. Цыбань. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 185 с.

Семенов В. Н. Виды антропогенного воздействия на морские экосистемы и некоторые способы их выявления // Экологическая ситуация и охрана флоры и фауны Баренцева моря. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1991. С. 115–121.

Семенов А. В., Зуева М. Н., Бахарев В. И. Источники загрязняющих веществ и уровни содержания нефтяных углеводородов и тяжелых металлов // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. М.: Наука, 2009. С. 285–291.

Современное состояние донных сообществ и поселений макрозообентоса на мелководье Баренцева моря и роль антропогенного фактора в их динамике / Т. А. Бритаев, А. В. Ржавский, Л. В. Павлова и др. // Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. Владивосток: Дальнаука, 2007. С. 314–356.

Соколов В. И., Штрик В. А. Биоценотический анализ донного населения прибрежной зоны губы Териберка Баренцева моря и возможность его применения для оценки воздействия камчатского краба на экосистемы // Тр. ВНИРО. 2003. Т. 142. С. 4–24.

Фролова Е. А. Экологическое состояние бентоса Кольского залива // Экологическая ситуация и охрана флоры и фауны Баренцева моря. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1991. С. 121–125.

Халаман В. В. Долговременные изменения в мелководных сообществах обрастания Белого моря // Биология моря. 2005. Т. 31, № 6. С. 406–413.

*Шахвердов В. А., Шахвердова М. В.* Оценка современного геоэкологического состояния Кольского залива по геохимическим данным // Арктика: экология и экономика. 2016. № 4(24). С. 22–31.

*Шимкевич В. М.* Pantopoda Белого моря и Ледовитого океана // Тр. Санкт-Петербург. общ-ва естествоиспытателей. 1895. Т. 26, вып. 3, 4.

*Шимкевич В. М.* Pantopoda Белого моря и Ледовитого океана (статья вторая) // Тр. Санкт-Петербург. общ-ва естествоиспытателей. 1896. Т. 27, вып. 4.

*Chao A.* Non-parametric estimation of the number of classes in a population // Scand. J. Stat. 1984. Vol. 11. P. 265–270.

*Chao A.* Estimating the population-size for capture recapture data with unequal catchability // Biometrics. 1987. Vol. 43. P. 783–791.

*Denisenko S. G.* Structurally-functional characteristics of the Barents Sea zoobenthos // Proc. Zool. Inst. Russ. Acad. Sci. 2004. Vol. 300. P. 43–52.

*Jaccard P.* Distribution de la flore alpine dans le Bassin des Dranses et dans quelques regions voisines // Bull. Soc. Vaudoise Sci. Natur. 1901. Vol. 37. Bd. 140. P. 241–272.

*Gray J. S.* The measurement of marine species diversity, with an application to the benthic fauna of the Norwegian continental shelf // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2000. Vol. 250. P. 23–49.

*Kedra M., Legeżyńska J., Walkusz W.* Shallow winter and summer macrofauna in a high Arctic fjord (79° N, Spitsbergen) // Mar. Biodiv. 2011. Vol. 41. P. 425–439.

*Laudien J., Herrmann M., Arntz W. E.* Soft bottom species richness and diversity as a function of depth and iceberg scour in Arctic glacial Kongsfjorden (Svalbard) // Polar Biol. 2007. Vol. 30. P. 1035–1046.

*Oug E., Hoisoeter T.* Soft-bottom macrofauna in the highlatitude ecosystem of Balsfjord, northern Norway: Species composition, community structure and temporal variability // Sarsia. 2000. Vol. 85, № 1. P. 1–13.

*Smitt F. A.* Recensio animalium Bryozoorum e mari arctico quae ad paeninsulam Kola in itinere anno 1878, duce H. Sandeberg, invenit F. Trybom // Ofversigt af Kongl. Vet.-Akad. Forh. 1878. Vol. 35, № 7. P. 19–32.

*Theele H.* Northern and Arctic invertebrates in the collection of the Swedish State Museum (Riksmuseum). 1. *Sipunculids* // Bih. Kungl. Svenske. Ved. Akad. Handl., Bd. 1905. Vol. 39. P. 1–130.

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2018-9-4-93-108

УДК 574.52

**Е. А. Фролова, Д. Р. Дикаева**

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

## **КОМПЛЕКСЫ ПОЛИХЕТ ПРИБРЕЖНОГО ЖЕЛОБА БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ 2016 ГОДА**

### **Аннотация**

На основе бентосных проб, собранных в экспедиции ММБИ на НИС “Дальние Зеленцы” в мае 2016 г., дано описание видового состава, количественного распределения, биогеографической и трофической структуры таксоцены многощетинковых червей на полигоне в прибрежном желобе Баренцева моря. В районе исследований выделено два фаунистических комплекса полихет, состав и структура которых обусловлены рельефом дна, гидрологическим режимом и связанным с ним характером грунтов.

### **Ключевые слова:**

многощетинковые черви, Баренцево море, климат.

**E. A. Frolova, D. R. Dikaeva**

Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia

## **COMPLEXES OF POLYCHAETES OF COASTAL TROUGHS IN THE BARENTS SEA RESULTS OF EXPEDITION 2016**

### **Abstract**

The paper describes species composition, quantitative distribution, biogeographic and trophic structure of taxocene of polychaetes in the coastal trough of the Barents Sea on the basis of benthic samples collected during a cruise on R/V “Dalnie Zelentsy” in May 2016. Two faunistic complexes of polychaetes were identified in the research area, the composition and structure of which are due to the bottom relief, hydrological regime and associated bottom sediments.

### **Keywords:**

Polychaeta, Barents Sea, climatic.

**Введение.** Изучение влияния климатических изменений на окружающую среду – одна из важнейших проблем нашего времени. Развитие потепления в Баренцевом море способствует проникновению с запада бореальных видов зообентоса, которые могут быть индикаторами изменений климата в Западной Арктике. Мурманским морским биологическим институтом КНЦ РАН проводятся регулярные исследования бентоса на разрезе “Кольский меридиан”, проходящем по 33°30' в. д. (Гидробиологические ..., 2011; Дикаева и др., 2016). Среди морских донных беспозвоночных многощетинковые черви наиболее многочисленны как по видовому составу, так и по количественным характеристикам (Жирков, 2001).

Они присутствуют практически во всех биоценозах, являясь во многих из них доминантными или фоновыми видами, что дает возможность использовать их в качестве индикаторов долговременных изменений факторов среды. Индикаторами термического режима вод могут быть бореальные виды многощетинковых червей (Гидробиологические ..., 2011).

Наибольшее количество бореальных видов полихет было отмечено на ст. 2 (70° с. ш., 33°30' в. д.) разреза “Кольский меридиан” (Дикаева и др., 2016). Грунт на этой станции содержит огромное количество спикул, что свидетельствует о поселении губок в этом районе. Скопления губок у берегов Мурмана были отмечены еще Мурманской научно-промышленной экспедицией в 1904 г. и профессором К. М. Дерюгиным в 1928 г. Обильное развитие губок связано с мощным действием течения, вызывающего значительное движение воды в придонных слоях, где они могут получать пищу в виде планктона и детрита, несущихся мимо них с течением (Филатова, 1938).

**Материал и методы.** В апреле–мае 2016 г. ММБИ КНЦ РАН на НИС “Дальние Зеленцы” была проведена экспедиция, в ходе которой, наряду с прочими задачами, были выполнены бентосные исследования на полигоне в прибрежной зоне Кольского полуострова. Станции располагались к северу от п-ова Рыбачий в прибрежном желобе на глубине от 135 до 300 м (рис. 1, табл. 1). Термохалинные характеристики вод свидетельствовали о сохраняющейся тенденции потепления в Баренцевоморском бассейне (Океанографические ..., 2016). Пробы были взяты дночерпателем ван-Вина (площадь захвата 0.1 м<sup>2</sup>) в 3-кратной повторности. Нами проанализировано 56 проб многощетинковых червей с 19 станций. Станции 117 и 119, на которых дночерпатель брал грунт под углом, в количественном анализе не учитывались. Температура воды от поверхности до дна была положительной. Пробы обрабатывали по стандартной гидробиологической методике (Руководство ..., 1980). Многощетинковые черви были идентифицированы авторами согласно определителю И. А. Жиркова (2001). Особей каждого вида подсчитывали и взвешивали с точностью до 0.001 г.

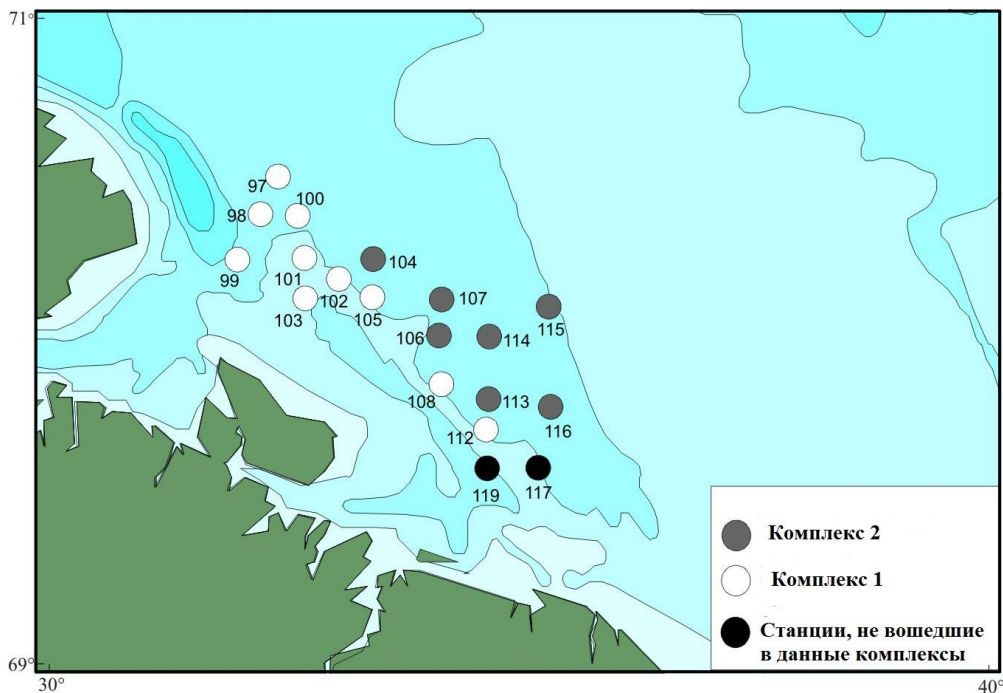


Рис. 1. Расположение станций отбора проб бентоса в мае 2016 г. с указанием комплексов полихет

Fig. 1. Location of benthic sampling stations in May 2016 with indication of polychete complexes

Таблица 1

**Характеристики станций отбора проб зообентоса в прибрежном желобе Баренцева моря в мае 2016 г.**

Table 1

**Characteristics of zoobenthos sampling stations in the coastal trench of the Barents Sea in May 2016**

Номер станции	Дата	Координаты		Н, м	Т, °С	S, ‰	Грунт
		с. ш.	в. д.				
97	22	70°29.8'	32°31'	280	5.6778	34.9412	Заиленный серо-коричневый песок, мягкая глина, немного гравия, галька, спикулы губок
98	23	70°23'	32°20.1'	181	5.1494	34.6343	Заиленный крупный и мелкий песок, камни, галька, глина, спикулы губок; запах сероводорода



99	24	70°14.8' 32°05.8'	300	5.6219	34.9	Мелкий серо-коричневый заиленный песок, глина с вкраплением розовой, спикулы губок; запах сероводорода
100		70°22.7' 32°48.3'	261	5.6243	34.8956	Серо-коричневый заиленный песок, мелкие камни, розовая глина, спикулы губок
101		70°15.1' 32°47.4'	172	4.8291	34.5548	Серо-коричневый заиленный мелкий песок со спикулами, в третьем дночерпателе – крупный песок и много камней, серая глина очень мягкая, но вязкая
102		70°11.3' 33°08.7'	195	5.0283	34.6238	Серо-коричневая глина, верхний слой мягкий, но с огромным количеством спикул губок
103	25	70°07.8' 32°47.9'	135	3.9461	34.2821	Заиленный песок мелкий и крупный, камни, серая мягкая глина
104		70°14.9' 33°30'	247	5.0414	34.7839	Песчанистый серо-коричневый ил, серая и розовая вязкая глина, немного спикул
105	26	70°08' 33°29.5'	238	5.006	34.753	Сверху грунт серо-коричневый заиленный мелкий песок, снизу – серая глина с крупным песком и камнями
106		70°01.1' 34°10.8'	216	4.8021	34.6211	Мелкий заиленный песок, серая глина
107		70°07.6' 34°12.5'	249	4.9619	34.7452	Мелкопесчанистый серо-коричневый ил, серая твердая глина
108		69°52.3' 34°12.3'	207	4.8674	34.6837	Мелкопесчанистый серо-коричневый ил, серая глина с большим количеством камней разной крупности

112	28	69°44.1' 34°12.7'	180	4.2347	34.4195	Заиленный песок сверху мелкий, в глине крупный, камни
113		69°49.6' 34°41.6'	214	4.3956	34.5704	Песчанистый серо- коричневый ил, мягкая глина
114		70°00.9' 34°42'	244	4.8473	34.702	Песчанистый серо- коричневый ил, мягкая глина
115		70°06.3' 35°18.9'	216	4.2416	34.62	Песчанистый коричневый ил, серая и коричневая глина
116		69°48.2' 35°20.1'	233	4.5031	34.6123	Песчанистый светло- коричневый ил, серая глина
117		69°37.2' 35°12.4'	187	4.1451	34.4801	Мелкий заиленный песок, глина с крупным песком
119	29	69°37.1' 34°40.7'	167	4.226	34.4224	Мелкий заиленный песок, мягкая глина

ПРИМЕЧАНИЕ. Н – глубина моря, Т – температура воды, S – соленость воды.

Для выделения таксоценов использовали показатель относительной интенсивности метаболизма, позволяющий оценить значимость отдельных видов по биомассе и по численности особей:

$$M = KN^{0.25}B^{0.75},$$

где N – плотность поселения организмов, экз/м<sup>2</sup>; B – биомасса, г/м<sup>2</sup>; K – коэффициент удельной интенсивности метаболизма (Денисенко и др., 2006).

Выделение групп станций по сходству видового состава выполняли с помощью кластерного анализа методом средневзвешенного на основе коэффициента сходства Брэя–Куртиса (Bray, Curtis, 1957).

**Результаты и обсуждение.** Всего в районе исследований идентифицировано 115 таксонов многощетинковых червей, из которых 88 имеют видовой статус (табл. 2). Из них 59 видов (67 %) – бореально-арктические, 15 (17 %) – бореальные и 14 (16 %) – арктические. Видовое богатство полихет на станциях (количество таксонов в трех дочерпателях) составляло от 34 до 60 таксонов полихет.



Таксон	Станции																		
	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	112	113	114	115	116	117	119
Семейство Capitellidae																			
<i>Heteromastus filiformis</i> (Claparede, 1864)	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Notomastus latericeus</i> M. Sars, 1851	-	-	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-
Семейство Chaetopteridae																			
<i>Spiochaetopterus typicus</i> M. Sars, 1856	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-
Семейство Cirratulidae																			
Cirratulidae g. sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cirratulus cirratus</i> (O.F. Mueller, 1776)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Семейство Cossuridae																			
<i>Cossura longocirrata</i> Webster & Benedict, 1887	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Семейство Dorvilleidae																			
Dorvilleidae g. sp.	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Семейство Flabelligeridae																			
<i>Brada granulosa</i> Hansen, 1880	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Diplocirrus hirsutus</i> (Hansen, 1879)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Diplocirrus longisetosus</i> (Marenzeller, 1890)	+	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+
Flabelligeridae g. sp.	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Семейство Glyceridae																			
<i>Glycera lapidum</i> Quatrephages, 1865	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-
Семейство Hesionidae																			
Hesionidae g. sp.	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таксон	Станции																		
	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	112	113	114	115	116	117	119
Семейство Lumbrineridae																			
Lumbrineridae g. sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Семейство Maldanidae																			
<i>Asychis biceps</i> (M. Sars, 1861)	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-
<i>Clymenura borealis</i> (Arwidsson, 1906)	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Clymenura</i> sp.	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lumbriclymene cylindricauda</i> M. Sars, 1871	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lumbriclymene minor</i> Arwidsson, 1906	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
<i>Lumbriclymene</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lumbriclymeninae</i> g. sp.	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	-
<i>Maldane arctica</i> Detinova, 1985	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-
<i>Maldane sarsi</i> Malmgren, 1867	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Maldanidae g. sp.	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-	+	+
<i>Nicomache (Nicomache) minor</i> Arwidsson, 1906	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Nicomache lumbricalis</i> (Fabricius, 1780)	+	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-
<i>Nicomache</i> sp.	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Notoproctus oculatus</i> Arwidsson, 1906	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+
<i>Petaloproctus tenuis</i> (Théel, 1879)	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Praxillella gracilis</i> (M. Sars, 1861)	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	-
<i>Praxillella praetermissa</i> (Malmgren, 1865)	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-

Таксон	Станции																		
	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	112	113	114	115	116	117	119
<i>Praxillura longissima</i> Arwidsson, 1906	+	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhodine gracilior</i> Tauber, 1879 Семейство Nephtyidae	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-
<i>Micronephthys minuta</i> (Theel, 1879)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Micronephthys</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
<i>Nephtys ciliata</i> (Mueller, 1779)	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
<i>Nephtys paradoxa</i> Malm, 1874	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-
<i>Nephtys</i> sp. Семейство Oeononidae	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-
Oeononidae g. sp. Семейство Onuphidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Nothria hyperborea</i> (Hansen, 1878) Семейство Opheliidae	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-
<i>Ophelina abbranchiata</i> Stoep-Bowitz, 1948	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ophelina acuminata</i> Oersted, 1843	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-
<i>Ophelina cylindricaudata</i> (Hansen, 1878) Семейство Orbiniidae	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-
<i>Orbinia (Phylo) norvegica</i> (M. Sars, 1872)	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scoloplos acutus</i> (Verrill, 1873) Семейство Oweniidae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Galathowenia fragilis</i> (Nilsen, Holthe, 1985)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-
<i>Galathowenia oculata</i> Zachs, 1923	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+



Таксон	Станции																		
	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	112	113	114	115	116	117	119
<i>Gattyana cirrhosa</i> (Pallas, 1766)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Harmothoe i. impar</i> (Johnston, 1839)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Polynoidae g. sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-
Семейство Sabellidae																			
<i>Branchiomma arcticum</i> (Ditlevsen, 1937) Knight-Jones, 1994	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chone duneri</i> Malmgren, 1867	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Chone murmanica</i> Lucash, 1910	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+
<i>Chone</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Euchone analis</i> (Kroeyer, 1856)	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Potamilla neglecta</i> (M. Sars, 1851)	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Sabellidae g. sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-
Семейство Scalibregmidae																			
<i>Pseudoscalibregma parvum</i> (Hansen, 1878)	-	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-
<i>Scalibregma inflatum</i> Rathke, 1843	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-
Scalibregmidae g. sp.	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Семейство Serpulidae																			
<i>Hyalopomatus claparedii</i> Merenzeller, 1878	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Семейство Sphaerodoridae																			
<i>Ephesiella abyssorum</i> (Hansen, 1878)	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
<i>Sphaerodoropsis minuta</i> (Webster & Benedict, 1887)	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sphaerodorum gracilis</i> (Rathke, 1843)	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Таксон	Станции																		
	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	112	113	114	115	116	117	119
<i>Sphaerodorum philippi</i> Fauvel, 1911	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+
Семейство Spionidae																			
<i>Laonice cirrata</i> (M. Sars, 1851)	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-
<i>Minuspio cirrifera</i> (Wiren, 1883)	-	-	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Polydora caeca</i> (Oersted, 1843)	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polydora</i> sp.	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-
<i>Spio arctica</i> (Söderström, 1920)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Spionidae g. sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Spiophanes kroeyeri</i> Grube, 1860	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Семейство Spirorbidae																			
Spirorbidae g. sp.	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Семейство Syllidae																			
Exogoninae g. sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+
Syllinae g. sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-
Семейство Terebellidae																			
<i>Lanassa v. venusta</i> (Malm, 1874)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Laphania boeckii</i> Malmgren, 1865	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-
<i>Leaena abranchiata</i> Malmgren, 1865	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Pista bansei</i> Safronova, 1988	-	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Polycirrus arcticus</i> M. Sars, 1865	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polycirrus medusa</i> Grube, 1850	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-
<i>Proclea graffi</i> (Langerhans, 1880)	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Terebellidae g. sp.	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
<i>Terebellides stroemi</i> Sars, 1835	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-
<i>Terebellides williamsae</i> Jirkov, 1989	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-

Средняя биомасса полихет на станциях колебалась от  $2.50 \pm 0.85$  г/м<sup>2</sup> на ст. 98 (глубина 181 м, заиленный песок со спикулами губок, камнями, галькой и глиной) до  $20.38 \pm 6.11$  г/м<sup>2</sup> на ст. 113 (глубина 214 м, песчанистый серо-коричневый ил, мягкая глина). Чаще всего преобладала по биомассе *Maldane sarsi*, но среди доминант встречались *Orbinia norvegica*, *Ophelina acuminata*, Lumbrineridae g. sp., *Melinna elisabethae*, *Nephtys ciliata*, *Laonice cirrata*, *Praxillella gracilis*, *Notomastus latericeus* (табл. 3).

Таблица 3

Результаты исследования таксоцена полихет в прибрежном желобе в 2016 г.

Table 3

Results of a study of the polychaete taxocene in the coastal trench in 2016

Станция	Количество таксонов	Средняя биомасса, г/м <sup>2</sup>	Средняя плотность поселения, экз/м <sup>2</sup>	Таксоцен
97	40	$3.82 \pm 1.21$	$920 \pm 86$	<i>Maldane sarsi</i>
98	47	$2.50 \pm 0.85$	$1347 \pm 523$	<i>Maldane sarsi</i>
99	47	$9.92 \pm 2.98$	$1843 \pm 70$	<i>Maldane sarsi</i>
100	40	$3.50 \pm 1.16$	$1203 \pm 358$	<i>Maldane sarsi</i>
101	60	$5.75 \pm 0.42$	$2600 \pm 361$	Lumbrineridae g. sp.
102	48	$4.54 \pm 2.26$	$1680 \pm 671$	Lumbrineridae g. sp.
103	51	$4.97 \pm 2.23$	$1980 \pm 1145$	<i>Melinna elisabethae</i>
104	45	$14.58 \pm 5.06$	$1537 \pm 72$	<i>Maldane sarsi</i>
105	55	$6.49 \pm 2.46$	$1563 \pm 364$	<i>Maldane sarsi</i>
106	41	$7.41 \pm 1.30$	$1290 \pm 38$	Lumbrineridae g. sp.
107	35	$4.09 \pm 0.78$	$1190 \pm 223$	<i>Maldane sarsi</i>
108	55	$7.16 \pm 2.32$	$1613 \pm 380$	<i>Maldane sarsi</i>
112	58	$9.25 \pm 4.27$	$1920 \pm 270$	<i>Nephtys ciliata</i>
113	42	$20.38 \pm 6.11$	$1597 \pm 165$	<i>Notomastus latericeus</i>
114	47	$13.55 \pm 4.14$	$1267 \pm 151$	<i>Maldane sarsi</i>
115	42	$18.50 \pm 8.19$	$1327 \pm 48$	<i>Maldane sarsi</i>
116	34	$9.40 \pm 2.16$	$920 \pm 318$	<i>Maldane sarsi</i>
117	35	$2.12 \pm 1.06$	$437 \pm 64$	<i>Nicomache lumbricalis</i>
119	25	$0.86 \pm 0.23$	$345 \pm 165$	<i>Diplocirrus longisetosus</i>

Средняя плотность поселения полихет колебалась от  $920 \pm 318$  экз/м<sup>2</sup> на ст. 116 (глубина 233 м, песчанистый светло-коричневый ил, серая глина) до  $2600 \pm 361$  экз/м<sup>2</sup> на ст. 101 (глубина 172 м, серо-коричневый заиленный мелкий песок со спикулами губок, камнями, мягкой глиной). На десяти станциях доминировали по плотности поселения *Maldane sarsi*, на трех – полихеты рода *Chone*, на двух – *Ophelina abbranchiata*. Кроме этого встречались станции с преобладанием Eхogoninae g. sp., *Galathowenia oculata*, *Owenia gr. fusiformis*.

Почти во всем исследуемом районе на глубинах более 200 м распространен таксоцен детритофага *Maldane sarsi*, который на южной ст. 113 заменяется таксоценом *Notomastus latericeus*. Лишь с юго-запада почти по 200-метровой изобате он граничит с таксоценоми плотоядных Lumbrineridae g. sp. (станции 101, 102, 106) и *Nephtys ciliata* (ст. 112). На самой мелководной ст. 103 (135 м) встречен таксоцен *Melinna elisabethae*.

В результате кластерного анализа были выделены два комплекса многощетинковых червей: 1 – станции 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 105, 108, 112; 2 – станции 104, 106, 107, 113, 114, 115, 116 (рисунки 1, 2). Комплекс 1 – средняя глубина 214.9 м, средняя придонная температура 4.998 °С, грунты представляют собой заиленный серо-коричневый песок, мягкую глину, с присутствием гравия, гальки, спикул губок. При этом, среднее количество видов на станции – 50, средняя биомасса – 5.79 г/м<sup>2</sup>, средняя плотность поселения – 1667 экз/м<sup>2</sup>. Комплекс 2 – расположен на больших глубинах (в среднем 231.3 м) при несколько меньших, но все же достаточно высоких температурах (4.695 °С) на песчаном серо-коричневом иле, мягкой глине. Спикулы губок отсутствуют или встречаются в небольшом количестве. При этом количество видов полихет меньше, чем на станциях комплекса 1 (в среднем 41 вид), биомасса больше (в среднем 12.56 г/м<sup>2</sup>), а плотность поселения меньше (в среднем 1304 экз/м<sup>2</sup>). *Spiochaetopterus typicus* встречен лишь в этом комплексе в небольших количествах.

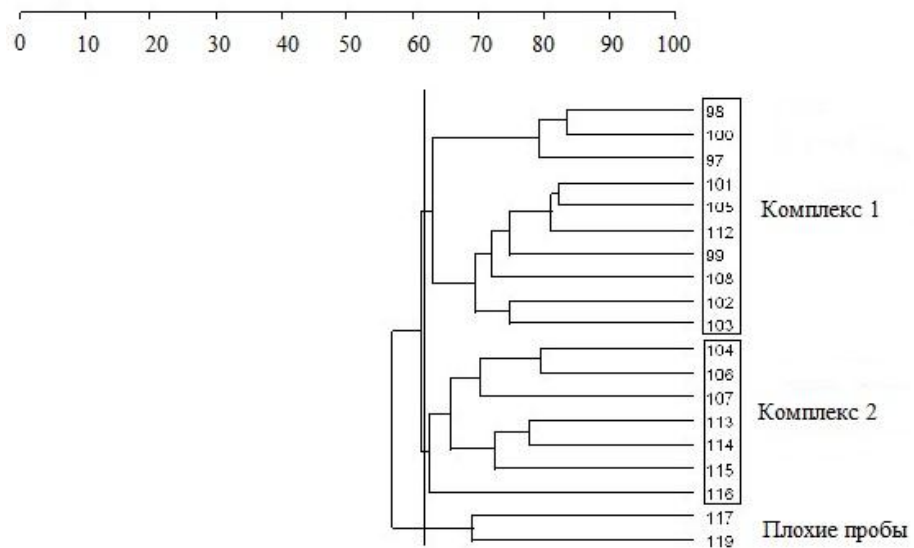


Рис. 2. Дендрограмма сходства видового состава полихет на станциях полигона

Fig. 2. Dendrogram of similarity of species composition of polychaetes at stations of the landfill

В трофической структуре обоих комплексов (рис. 3) преобладают по биомассе полихеты, безвыборочно поглощающие грунт. Однако, в комплексе 2 их доля намного больше, при этом отсутствуют сестонофаги, в небольшом количестве отмечены собирающие детритофаги, снижена доля плотоядных.



Рис. 3. Трофическая структура комплексов полихет  
Fig. 3. Trophic structure of polychaete complexes

Гидрологические условия исследуемого района определяет южная ветвь Нордкапского течения, идущая вдоль побережья Мурмана. Эта струя “в значительной степени является результатом поступления с запада, вдоль самого берега, теплых континентальных вод Норвежского побережья, смешанных с местными береговыми водами” (Филатова, 1938, с. 9). Здесь наблюдаются наиболее высокие среднегодовые температуры и наименьшие солености. Воды прибрежной ветви подвержены весьма сильным сезонным колебаниям температуры, солености и расходов (Филатова, 1938).

Выделенные комплексы многощетинковых червей отражают неоднородность исследуемого полигона. Комплекс 1 населяет область обильного развития губок, которая занимает склон желоба. Грунты здесь представляют собой заиленный песок, мягкую глину с камнями и спикулами губок. Подобные грунты и поселения губок являются следствием сильных течений. Комплекс 2 расположен глубже, на днище желоба. Грунты на его станциях мягкие, без спикул губок. Это свидетельствует о более спокойной гидродинамике. Комплексы полихет отличаются количеством видов, биомассой, плотностью поселения и трофической структурой. Видовое разнообразие и плотность поселения комплекса 1 больше, а биомасса меньше, чем у комплекса 2. В трофической структуре комплекса 1 больше сестонофагов и собирающих детритофагов, что обусловлено активной гидродинамикой районов, а комплекс 2 отличается обильным развитием грунтоедов и отсутствием сестонофагов, что свидетельствует о более спокойных гидрологических условиях в районах обитания.

**Заключение.** В результате изучения группы многощетинковых червей в прибрежном желобе Баренцева моря можно сделать вывод, что исследуемый район не является однородным. Кластерный анализ выявил два комплекса полихет в зависимости от характера грунта, который связан с гидродинамикой. Комплекс 1 обитает на станциях со спикульными грунтами и камнями, комплекс 2 – на станциях с мягкими илистыми грунтами без камней и спикул губок. Комплекс 1 отличается от комплекса 2 большим видовым разнообразием, большей плотностью поселения и меньшей биомассой. Можно сделать вывод, что через полигон проходит граница между склоном с сильными течениями и грунтами с камнями и спикулами губок и днищем желоба с более спокойной гидродинамикой и мягкими осадочными породами.

Работа выполнена по теме 9-13-02 (51; 52) в рамках государственного задания № 0228-2018-0002.

### Литература

*Денисенко Н. В., Денисенко С. Г., Фролов А. А.* Морские беспозвоночные Арктики, Антарктики и Субантарктики // Исследования фауны морей. Вып. 56(64). СПб., 2006. С. 15–34.

*Дикаева Д. Р., Фролова Е. А., Вязникова В. С.* Распределение и динамика сообществ полихет на разрезе “Кольский меридиан” (Баренцево море) // Вестн. МГТУ. 2016. Т. 19, № 1/2. С. 258–267.

*Жирков И. А.* Полихеты Северного Ледовитого океана. М: Янус-К, 2001. 631 с.

*Гидробиологические индикаторы циклических изменений климата Западной Арктики в XX–XXI вв.* / Г. Г. Матишов, Д. В. Моисеев, О. С. Любина и др. // Вестн. Южного науч. центра РАН. 2011. Т. 7, № 2. С. 54–68.

*Океанографические условия в морях Северо-Европейского бассейна и Северной Атлантики в 2014–2015 гг. и их влияние на распределение промысловых рыб* / А. Л. Карсаков, В. А. Боровиков, Е. В. Сентябов и др. // Тр. ВНИРО. 2016. Т. 164. С. 5–21.

*Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений.* Л.: Гидрометеоздат. 1980. 192 с.

*Филатова З. А.* Количественный учет донной фауны юго-западной части Баренцева моря. // Тр. ПИНРО. 1938. Вып. 2. С. 3–58.

*Bray J. R., Curtis J. T.* An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin // Ecol. Monogr. 1957. V. 27. P. 325–349.

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2018-9-4-109-117

УДК 551.465 (268.45)

**М. В. Митяев, М. В. Герасимова, Л. Г. Павлова, Е. И. Дружкова**

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

## **ЛАТЕРАЛЬНЫЕ ПОТОКИ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА НА РАЗРЕЗЕ “КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН”**

### **Аннотация**

В работе рассмотрены основные особенности распределения взвешенного вещества на разрезе “Кольский меридиан”. Выявлена поперечная структура латеральных потоков взвеси и дана оценка литодинамики западной части Баренцева моря.

### **Ключевые слова:**

взвешенное вещество, латеральные потоки, нефелоидный слой, Баренцево море.

**M. V. Mityaev, M. V. Gerasimova, L. G. Pavlova, E. I. Dryzhkova**

Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia

## **LATERAL FLOWS OF THE SUSPENSION MATERIAL ON THE SECTION “KOLA MERIDIAN”**

### **Abstract**

The paper discusses the main features of the distribution of suspended matter on the section “Kola Meridian”. The transverse structure of the lateral slurry flows was determined and the litodynamics of the western part of the Barents Sea was estimated.

### **Keywords:**

suspended matter, lateral flows, nepheloid layer, Barents Sea.

**Введение.** Одна из важнейших геологических задач в исследовании шельфовой зоны – выявление закономерностей распределения потоков вещества в толще вод. Основная масса твердых частиц в океане перемещается во взвешенном состоянии (Айбулатов, 1990). Изучение этой части потока вещества по существу решает проблему его динамики в целом.

Сведений о пространственном распределении взвеси в Баренцевом море недостаточно (Quantitative ..., 1977; Медведев, Потехина, 1986, 1990; Новые ..., 1999; Влияние ..., 2004; Biogeochemistry ..., 2005; Митяев, Герасимова, 2007). Для их пополнения в июле 2017 г. Мурманским морским биологическим институтом была проведена экспедиция в Баренцево море на НИС “Дальние Зеленцы”. Сбор фактического материала был выполнен вдоль разреза “Кольский меридиан” (33.5° в. д.) – от Мурманского поднятия на юге (73.5° с. ш.) до желоба Короля Карла на севере (78.7° с. ш.). Стратегия изучения взвеси

заклучалась в пересечении основных форм рельефа, контролирующих потоки вещества, направленные как в Баренцевоморский бассейн, так и из него с целью последующего определения удельных и суммарных расходов вещества в потоках.

В Баренцево море поступают теплые воды из Северной Атлантики, которые имеют низкую концентрацию взвеси (Новые ..., 1999), характерную для открытых вод Мирового океана. В северной акватории моря происходит смешивание теплых атлантических вод с водами Северного Ледовитого океана, которые также характеризуются высокой прозрачностью и, как следствие, низкой концентрацией взвеси (Матюшенко, Ушаков, 1993).

**Результаты исследований взвеси и латеральных потоков взвешенного вещества в Баренцевом море (лето 2017 г.).** Ранее установлено (Медведев, Потехина, 1986; Арктический ..., 1987; Суздальский, 1974; Влияние ..., 2004; Митяев, Герасимова, 2007), что основные источники поступления взвешенного материала в Баренцево море – абразия берегов, эрозия дна, твердый сток рек, лед, биологические процессы, атмосферные аэрозоли. К этим источникам можно добавить и техногенные (Гуревич, 1989; Новые ..., 1999). Очевидно, что источники взвешенного материала и районы его депонирования находятся преимущественно в самом Баренцевом море. Аллохтонными являются взвеси Белого, Карского морей и взвесь, поставляемая течениями из Северной Атлантики и Арктики. Их роль еще следует оценить, но по предварительным оценкам она не менее значительна, чем местных источников. Основными факторами переноса взвешенного материала в толще вод Баренцева моря следует считать различного рода течения, ветровое волнение, льды и айсберги, биогенные потоки, гравитационные потоки, широко проявленные на границах положительных и отрицательных форм рельефа (Морфоструктуры ..., 2003).

Рассмотрим поперечную (профильную) и вертикальную структуры горизонтальных потоков взвеси в центральной части Баренцева моря.

На меридиональном разрезе по  $33.5^\circ$  в. д. отчетливо видна поперечная структура баренцевоморских вод, входящих в Баренцево море (с запада и севера) и выходящих из него (на юго-запад), и латеральных потоков взвешенного вещества (рисунки 1, 2). На рисунке 1 изображена поперечная структура летних вод Баренцева моря, где на наш взгляд можно выделить четыре крупных течения. В южной части моря (южнее Демидовской возвышенности) теплые атлантические воды практически полностью заполняют данную акваторию, вероятно, это центральная и северная ветви Нордкапского течения. В северной части (севернее Демидовского желоба) в верхней 150–180-метровой толще воды господствуют холодные воды, поступающие из Северного Ледовитого океана по желобам Франц-Виктория и Орла, ниже залегают трансформированные баренцевоморские воды. На Демидовской

возвышенности и в Демидовском желобе отчетливо видна поперечная структура придонного течения баренцевоморских вод и сопровождающий его горизонтальный поток взвеси направленный из центральных районов Баренцева моря в Медвежинский желоб. В желобе Короля Карла и на возвышенности Персея выявляется поперечная структура придонного течения, вероятно, несущая холодные воды из впадины Альбанова (северо-восточная акватория Баренцева моря) в сторону Зюйдкапского желоба. Атлантические и арктические воды формируют два входящих в Баренцево море потока, по-разному насыщенные взвешенным веществом (рис. 2). Придонные течения, выходящие из Баренцева моря, имеют сопоставимые концентрации и распределения взвеси.

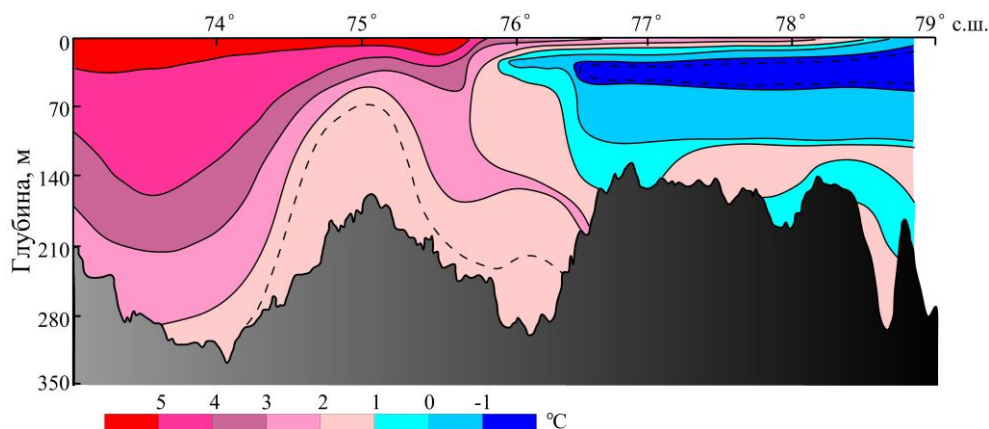


Рис. 1. Температура воды на разрезе “Кольский меридиан” в июле 2017 г.  
 Fig. 1 Water temperature at the section “Kola Meridian” in July 2017

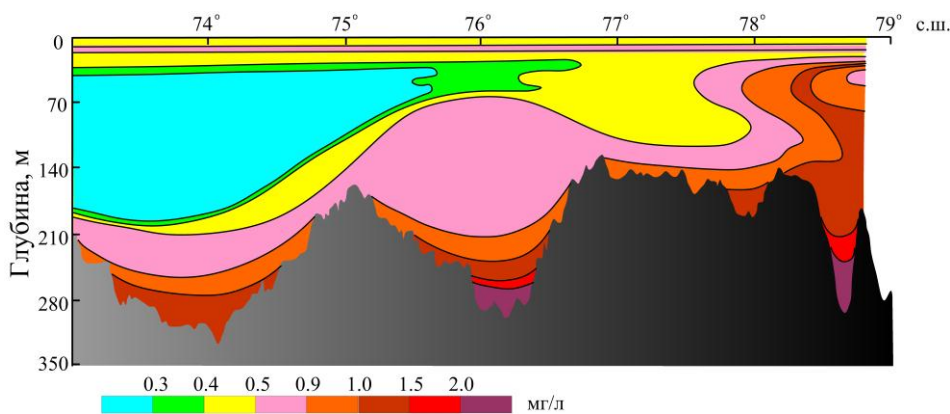


Рис. 2. Концентрация взвеси на разрезе “Кольский меридиан” в июле 2017 г.  
 Fig. 2. Concentration of the suspended matter at the section “Kola Meridian” in July 2017

Несмотря на определенные различия в концентрациях взвешенного вещества (рис. 2) в вертикальном распределении взвеси на юге и севере, есть много общего. Максимумы концентрации взвеси приурочены к 10-метровому



горизонту и придонному слою воды (нефелоидный слой, рис. 3). Абсолютный максимум концентрации взвеси отмечается в нефелоидном слое, и практически повсеместно превышает 0.9 мг/л (до 2.2 мг/л).

Южнее вершинной поверхности Демидовской возвышенности толща воды между глубинами 10 и 210 м характеризуется низкой концентрацией взвеси – 0.2–0.4 мг/л. Этот слой прозрачной воды непрерывен вплоть до возвышенности Персея (77.5° с. ш.). Прозрачные воды подстилаются слоем воды, обогащенной взвешенным веществом, градиент (нефелоклин) концентраций взвеси располагается на разной глубине, но не более 80 м от дна (в среднем 40–60 м).

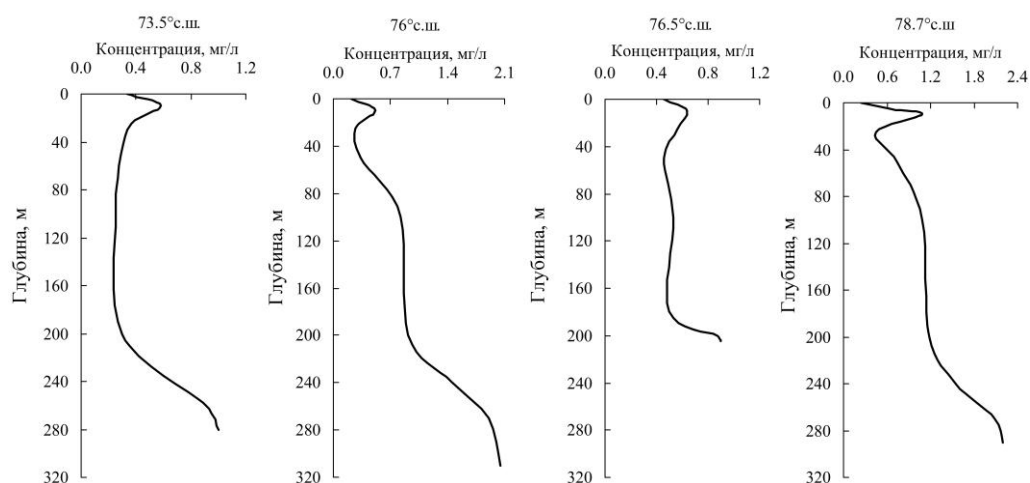


Рис. 3. Вертикальное распределение концентраций взвеси на разрезе “Кольский меридиан”

Fig. 3. Vertical distribution of the suspended matter concentrations at the section “Kola Meridian”

На северном склоне Демидовской возвышенности, в Демидовском желобе и на южном склоне Центральной возвышенности толща воды между глубинами 70 и 200 м характеризуется повышенной концентрацией взвеси – 0.5–0.9 мг/л. Выше глубины 70 м располагается слой прозрачной воды (0.2–0.5 мг/л) с максимумом на горизонте 10 м (до 0.64 мг/л). По всей акватории четко проявлен нефелоидный слой с концентрацией взвеси более 0.9 мг/л (до 2.05 мг/л), нефелоклин выражен четко, а мощность нефелоидного слоя не превышает 60 м.

Над вершинной поверхностью Центральной возвышенности основная толща воды характеризуется низкой концентрацией взвеси (0.3–0.5 мг/л). Мощность нефелоидного слоя не превышает 20 м.

Наиболее высокие концентрации взвеси фиксируются над возвышенностью Персея (включая его седловину) и в желобе Короля Карла (рисунки 2, 3). Здесь низкие концентрации взвеси зафиксированы в

верхнем 3-метровом слое воды (менее 0.3 мг/л) и в ядре арктических вод (0.4–0.6 мг/л) на глубине 20–50 м. В остальной толще воды концентрации взвеси превышают 1 мг/л, достигая максимума в нефелоидном слое – до 2.2 мг/л. Мощность нефелоидного слоя достигает 70 м в желобе, сокращаясь до 10 м на склонах поднятий.

Повсеместная повышенная концентрация взвеси на 10-метровом горизонте, вероятно, является отражением скачка плотности в толще воды и сопровождающих его биологических процессов, что характерно и для других арктических бассейнов (Айбулатов, 1990).

Наличие нефелоидного слоя является признаком хорошей перемешиваемости водных масс (Ewing, Thorndike, 1965). Ведущую роль в формировании нефелоидных слоев играют гравитационные течения, способные эродировать рыхлые отложения дна. Другой источник взвеси для нефелоидного слоя – частицы, оседающие из верхних слоев воды. Погружаясь в толщу воды, частицы взвеси не могут осесть из-за достаточно сильных придонных течений и перемещаются вдоль дна в горизонтальном направлении. Нефелоидные слои широко распространены в Мировом океане. Считается, что они приурочены к зонам распространения холодных вод из полярных бассейнов (Пыхов, 1989). Но, как показывает практика, они распространены и в областях, где господствуют теплые течения.

Тонкие частицы взвеси имеют столь малую скорость оседания, что в спокойных условиях они могут и не осесть на дно. Несомненно, что при наличии придонных течений такие частицы будут переноситься на большие расстояния, а нефелоидные слои будут существовать длительное время. Существует два главных способа оседания тонких частицы на дно. Это физико-химическое укрупнение взвеси (коагуляция), что возможно при достаточно высокой концентрации взвешенных частиц, и биофильтрация взвеси, главным из которых является формирование нового пеллетного вещества (Лисицын, 2004).

Схожие результаты были получены Н. А. Айбулатовым с соавторами в 1998 г. по меридиональным разрезам на 37° и 40° в. д. (Новые ..., 1999). Предшественники фиксировали более низкие концентрации взвеси в нефелоидном слое (менее 1 г/л) и арктических водах (0.1–0.4 мг/л). Возможно, что различия по концентрации взвеси в арктических водах связаны с тем, что исследования проводились в разные сезоны года. В 1998 году исследования проводились осенью, в 2017 г. – в середине лета. При этом концентрации взвеси в атлантических водах идентичны (менее 0.4 мг/л).

Интересно, что формирование полярного фронта наблюдалось не в зоне сочленения теплых и холодных вод (76° в. д.), а севернее на 2° (между 77.5° и 78.5° в. д.), в непосредственной близости от кромки льдов.

Исходя из имеющихся данных, можно оценить объем латеральных потоков вещества в западной части Баренцева моря, как входящих, так и выходящих из него. С запада Нордкапским течением в верхнем 200-

метровом слое воды в бассейн поставляется примерно 180 тыс. т взвеси в сутки (при средней концентрации взвеси  $0.36 \pm 0.04$  мг/л). С севера арктические воды поставляют еще примерно 55 тыс. т взвеси в сутки (при средней концентрации взвеси  $0.74 \pm 0.1$  мг/л).

В сутки с придонными течениями баренцевоморских вод из Баренцева моря через Финмаркенскую равнину выносятся примерно 110 тыс. т взвеси (при средней концентрации взвеси  $1.46 \pm 0.26$  мг/л), через Демидовскую возвышенность – 40 тыс. т ( $0.69 \pm 0.2$  мг/л), через Демидовский желоб – 50 тыс. т ( $1.58 \pm 0.28$  мг/л), через возвышенность Персея – 35 тыс. т ( $1.02 \pm 0.12$  мг/л) и через желоб Короля Карла – 50 тыс. т ( $1.62 \pm 0.25$  мг/л).

Таким образом, в западной части Баренцева моря в границах  $33.5^\circ$  в. д. за сутки перемещается более 0.5 млн т взвешенного вещества. При этом поступление взвешенного вещества в центральные районы Баренцева моря можно оценить в 235 тыс. т в сутки, а вынос – в 285 тыс. т в сутки. Запас взвешенного вещества по разрезу “Кольский меридиан” может составить 125 тыс. т, а вертикальный поток – 20–200 кг в сутки (для Медвежинско-Надеждинского поднятия –  $24\text{--}231$  мг/м<sup>2</sup> в сутки; Потоки ..., 1994). Следовательно, главным процессом в литодинамике Баренцевоморского шельфа является латеральное перемещение осадочного вещества с незначительным преобладанием выноса взвеси на периферию бассейна.

На субширотном профиле (рисунки 4, 5), через поднятие Короля Карла и седловину Персея хорошо видна поперечная структура четырех латеральных потоков. Относительно низкими концентрациями взвеси ( $0.49 \pm 0.03$  мг/л) характеризуется поток холодных (арктических) вод с пониженной соленостью ( $34.516 \pm 0.021$  ‰), вероятно, поступающий со стороны желоба Орла (Стурё), который может приносить до 6 тыс. т взвеси в сутки. Под поверхностным течением располагаются охлажденные воды с более высокой соленостью ( $34.861 \pm 0.003$  ‰) и концентрацией взвешенного вещества ( $0.78 \pm 0.11$  мг/л), формирующие второй поток. Вероятнее всего, этот поток направлен в северо-западном направлении и может выносить до 9 тыс. т взвеси в сутки. В восточной части разреза (рисунки 4, 5) видна поперечная структура двух потоков (охарактеризованы выше) через желоб Короля Карла, их ширина достигает 20 км. Центральную часть разреза занимают баренцевоморские воды с относительно высокими концентрациями взвеси ( $0.95 \pm 0.13$  мг/л), формируют ли данные воды адвекционный поток на основе имеющихся данных сказать нельзя.

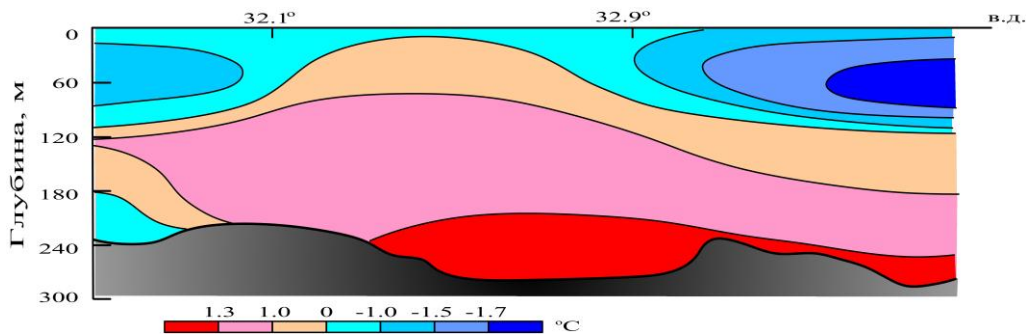


Рис. 4. Температура воды на субширотном профиле (78.7° с. ш.) в июле 2017 г.  
 Fig. 4. Water temperature at the sublatitudinal profile (78.7° N) in July 2017

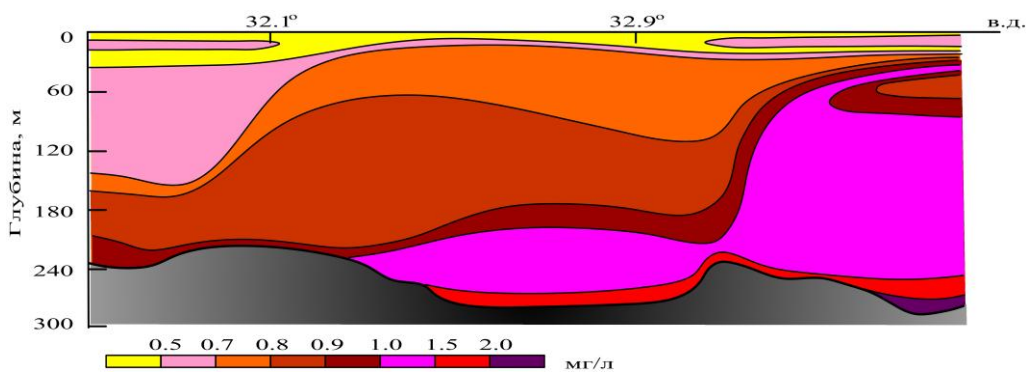


Рис. 5. Концентрация взвеси на субширотном профиле (78.7° с. ш.) в июле 2017 г.  
 Fig. 5. Concentration of the suspended matter at the sublatitudinal profile (78.7° N) in July 2017

**Заключение.** Проведенные исследования позволили получить новые данные о трансграничных латеральных потоках в Баренцевом море, которое является открытой системой, куда поступают и откуда удаляются большие объемы взвешенного осадочного вещества, часть которого успевает аккумулироваться внутри бассейна.

С запада в Баренцевоморский бассейн взвешенное вещество поставляют нордкапские воды Гольфстрима, которые, несмотря на высокую прозрачность, за год перемещают более 65 млн т взвесей. Несомненно, что в составе взвесей много автохтонного фитопланктона и продуктов его жизнедеятельности, а также и аллохтонного вещества, в том числе и различного рода поллютантов. Ранее в атлантических водах выделялась трехслойная структура латерального потока взвесей (Новые ..., 1999), но, вероятно, нефелоидный слой не относится к атлантическим водам, так как он формируется под влиянием баренцевоморских вод и гравитационных течений.

С севера взвешенное вещество поступает в Баренцево море из котловины Нансена через краевые желоба Франц-Виктория и Орла (Стурё). Судя по низким температурам и невысокой солености это

арктические воды, которые характеризуются повышенными концентрациями взвеси. Возможно, насыщение вод взвешенным веществом связано с прохождением течений вдоль трех поднятий морского дна (плато островов Белый, Виктория и Короля Карла). С этими водами за год в бассейн Баренцева моря может поступать до 20 млн т взвеси.

Придонные баренцевоморские воды перемещаются в западном и северном направлениях, компенсируя приток атлантических и арктических вод. Они насыщены взвесью, которая повсеместно формирует нефелоидный слой. Если повсеместное распространение нефелоидного слоя во внутренних районах моря фиксировалось и ранее (Новые ..., 1999), то для северных акваторий наличие нефелоидного слоя в целом отрицалось, что объяснялось интенсивным перемешиванием водных масс. В целом только в нефелоидном слое баренцевоморские воды в год перемещают более 100 млн т взвеси. Несомненно, что часть взвешенного вещества аккумулируется в локальных седиментационных ловушках (Современная ..., 2002), но существенное количество осадочного вещества может выноситься из Баренцева моря.

Подводя итоги, отметим главное – в современной литодинамике Баренцевоморского шельфа преобладает латеральное перемещение осадочного вещества, с выносом взвесей на периферию бассейна.

Работа выполнена по теме 9-18-03 в рамках государственного задания № 0228-2018-0016.

## Литература

*Айбулатов Н. А.* Динамика твердого вещества в шельфовой зоне. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 272 с.

*Арктический шельф Евразии в позднечетвертичное время / А. А. Аксенов, Н. Н. Дунаев, А. С. Ионин и др. М.: Наука, 1987. 278 с.*

*Влияние ледников Новой Земли на современное осадконакопление на примере залива Русская гавань (Северный остров архипелага Новая Земля) / Н. В. Политова, В. П. Шевченко, Н. А. Айбулатов и др. // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов. Архангельск: Изд. АГТУ, 2004. Т. 2. С. 172–176.*

*Гуревич В. И.* Техногенная седиментация на западно-арктическом шельфе // Проблемы кайнозойской палеоэкологии и палеогеографии морей Северного Ледовитого океана: Тез. докл. 3-й Всесоюз. конф. Апатиты: Изд. КНЦ АН СССР, 1989. С. 18–19.

*Лисицын А. П.* Потоки осадочного вещества, природные фильтры и осадочные системы “живого океана” // Геология и геофизика. 2004. Т. 45, № 1. С. 15–48.

*Матюшенко В. А., Ушаков И. Е.* Экологический экспресс-мониторинг прозрачности морской воды прибрежных акваторий архипелага Новая Земля, Баренцева и Белого морей // Тр. Мор. Аркт. комп. экспед. 1993. Т. 2. Вып. 3. Новая Земля. С. 142–149.

Медведев В. С., Потехина Е. М. Количественное распределение и особенности динамики взвеси в юго-восточной части Баренцева моря // Океанология. 1986. Т. 26, № 4. С. 639–645.

Медведев В. С., Потехина Е. М. Количественное распределение и особенности динамики взвеси в юго-западной части Карского моря // Современные процессы осадконакопления на шельфе Мирового океана. М.: Наука, 1990. С. 110–120.

Морфоструктуры западной части Баренцевоморского шельфа / М. В. Митяев, В. Б. Хасанкаев, Г. А. Тарасов, В. А. Голубев // Океанология. 2003. Т. 43, № 4. С. 611–620.

Митяев М. В., Герасимова М. В. Геохимия взвешенного вещества вблизи активного ледника Павлова (залив Иностранцева, архипелаг Новая Земля) // Вестн. Южного науч. центра. 2007. Т. 3, № 3. С. 51–62.

Новые данные о поперечной структуре латеральных потоков взвешенного вещества по периферии Баренцева моря / Н. А. Айбулатов, В. А. Матюшенко, В. П. Шевченко и др. // Геоэкология. 1999. № 6. С. 526–540.

Потоки осадочного вещества в Карском море и в эстуариях Оби и Енисея / А. П. Лисицын, В. П. Шевченко, М. Е. Виноградов и др. // Океанология. 1994. Т. 34, № 5. С. 748–758.

Пыхов Н. В. Донные пограничные слои в океане: состояние экспериментальных исследований гидрофизических процессов // Исследование придонного слоя океана буксируемыми аппаратами. М.: Изд. Ин-та океанологии РАН, 1989. С. 8–39.

Современная литодинамика и седиментационные ловушки Медвеженского желоба Баренцева моря / Г. Г. Матишов, М. В. Митяев, В. Б. Хасанкаев и др. // Докл. РАН. 2002. Т. 384, № 6. С. 818–820.

Суздальский О. В. Литодинамика мелководий Белого, Баренцева и Карского морей // Геология моря. 1974. Вып. 3. С. 27–33.

Biogeochemistry of the Kem' River estuary, White Sea (Russia) / V. P. Shevchenko<sup>1</sup>, Y. S. Dolotov, N. N. Filatov et al. // Hydrology and Earth System Sciences, 2005. № 9. P. 57–66.

Ewing M., Thorndike E. M. Suspended matter in deep ocean water // Science. 1965. V. 147. P. 1291–1294.

Quantitative distribution of suspension and suspended organic carbon in the Kara and Barents Seas / V. P. Shevchenko, A. P. Lisitsin, G. I. Ivanov et al. // Natural Conditions of the Kara and Barents seas: Proceedings of the Russian-Norwegian Workshop-95. Oslo: Norsk Polarinstitut, 1977. Rapport № 97. P. 431–435.

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2018-9-4-118-130

УДК 551.35 (268.45-15)

**М. В. Митяев, М. В. Герасимова, Л. Г. Павлова**

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

## **СОВРЕМЕННЫЕ ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ МОТОВСКОГО ЗАЛИВА (БАРЕНЦЕВО МОРЕ)**

### **Аннотация**

В работе рассмотрены основные закономерности современного седиментогенеза Мотовского залива. Выявлена закономерная смена современных донных отложений в зависимости от геоморфологического строения залива.

### **Ключевые слова:**

донные отложения, подводный береговой склон, днище залива, Мотовский залив.

**M. V. Mityaev, M. V. Gerasimova, L. G. Pavlova**

Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia

## **MODERN BOTTOM SEDIMENTS OF THE MOTOVSKIY BAY (BARENTS SEA)**

### **Abstract**

The main regularities of the modern sedimentation of Motovskiy Bay are considered in this work. A regular change of modern bottom sediments is revealed depending on the geomorphological structure of the bay.

### **Keywords:**

bottom sediments, underwater coastal slope, bottom of the bay, Motovskiy Bay.

**Введение.** Мотовский залив один из крупнейших краевых бассейнов Мурманского побережья, уступающий по площади и объему водной массы только Варангер-фьорду. Площадь водного зеркала залива между 32° и 33° в. д. составляет около 380 км<sup>2</sup>, что более чем в 2 раза превышает площадь акватории Кольского залива. Объем водной массы Мотовского залива при 50 %-й обеспеченности уровней примерно 52 км<sup>3</sup>, что в 3.5 раза больше объема вод Кольского залива (Кольский ..., 1997). Изменение площади и объема водной массы в результате приливоотливных течений не превышает 3 %. Географическое положение, морфометрические особенности и геоморфологическое строение Мотовского залива определяют сочетание в его пределах разнообразных обстановок седиментации, а геолого-тектоническое строение обрамляющих берегов – разнообразие вещественно-генетических типов донных отложений.

Мотовский залив парагенетически приурочен к главной северной краевой шовной зоне Балтийского щита, глубинному разлому Карпинского (Козлов, 1979) и сформирован в зоне его влияния. Депрессия залива

представляет собой грабен, разделяющий два формационных комплекса, западная часть которого сформирована в зоне сопряжения архейских и позднепротерозойских структур.

Водосбор залива в морфоструктурном плане разделяется на три части. Южная морфоструктурная питающая провинция сформирована на архейском гранит-мигматитовом комплексе Мурманского побережья. Провинция имеет блоково-глыбовое расчленение по крупным активизированным зонам Гранитного и Титовского глубинных разломов (Козлов, 1979). Вдоль этих зон сформировались линейные губы (Титовка, Западная Лица, Вичаны, Ара, Ура). В этой морфоструктуре широко развита гидрографическая сеть (Митяев, 2014). Поставка осадочного вещества осуществляется четырьмя крупными водотоками (реки Титовка, Западная Лица, Ара и Ура) и более чем 30 малыми реками и ручьями (включая реки Малая Лица, Вичаны, Урица). Водотоки поставляют большое количество терригенного материала.

Северная морфоструктурная провинция сформирована на раннепалеозойском осадочно-метаморфическом комплексе полуострова Рыбачий (Геология ..., 1958; Ранний ..., 1996). Берега провинции ровные сбросовые с плохо развитой гидрографической сетью (Митяев, 2014). Всего насчитывается 16 значимых водотоков (включая реки Эйна и Моче), суммарный твердый сток которых меньше стока каждого крупного водотока южной морфоструктуры.

С северо-запада выделяется морфоструктурная провинция п-ова Средний, отличающаяся от северной провинции полным отсутствием гидрографической сети.

По современному осадконакоплению в заливе можно выделить три района седиментации (внутри единой прибрежной области шельфа): 1) прибрежное осадконакопление в губах и бухтах залива; 2) склоновое осадконакопление (включая подножие берегового склона) в прибрежных относительно мелководных (до 150 м) частях открытой акватории залива; 3) глубоководное осадконакопление открытой акватории залива. В третьем районе наблюдается быстрая смена обстановок седиментации и соответствующих им отложений от мелководного шельфа до обстановок и отложений глубоководного шельфа.

**Материал и методы.** Колонки донных отложений отбирались с борта гидрологического судна (ГС-440) с помощью грунтовой трубки ГОИН и дночерпателя ван-Вина. В дночерпателе пробы отбирались с помощью пластиковой трубки, предварительно разрезанной вдоль длиной оси.

Литологическое описание отложений проводилось сразу после поднятия прибора на борт судна. Гранулометрический, минералогический состав и физические свойства донных отложений определялись в лабораторных условиях стандартными апробированными в мировой практике методами (Методы ..., 1957; Петелин, 1967; Романовский, 1988).



Всего выполнено 46 станций (рис. 1; таблица), из которых в Мотовском заливе отработано 24 станции, 22 станции – в сочленяющихся с заливом губах Эйна, Большая Мотка, Кутовая, Титовка, Западная Лица, Ара и Ура.

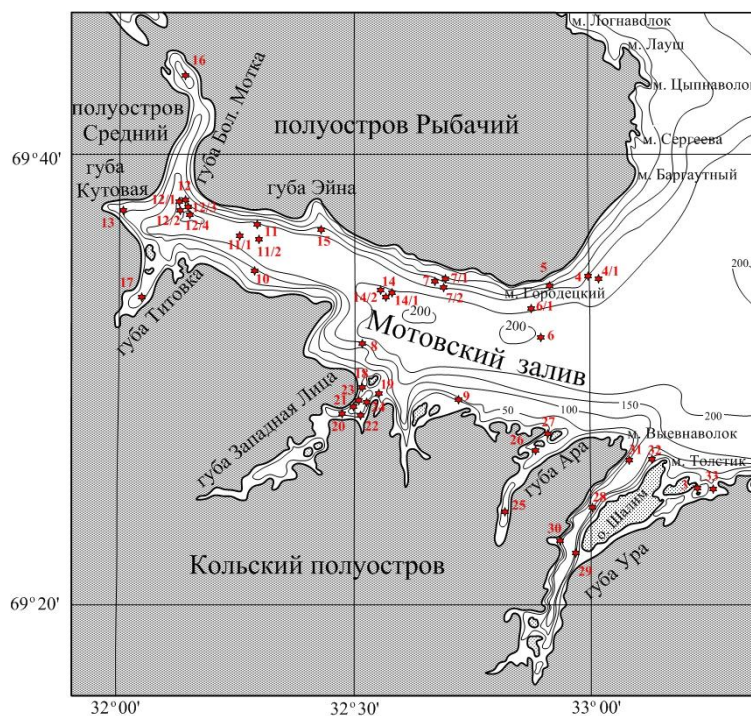


Рис. 1. Схема района работ  
Fig. 1. Schema of the working area

### Характеристика станций отбора проб Characteristic of the sampling stations

Номер станции	Координаты		Глубина моря, м	Вскрытая мощность отложений, см
	с. ш.	в. д.		
3	69°24.9	33°12.8	90	20
4	69°34.6	33°00.6	208	39
4/1	69°34.6	32°59.9	147	10
5	69°34.0	32°53.1	105	7
6	69°32.02	32°53.7	282	32
6/1	69°33.5	32°51.5	198	10
7	69°34.0	32°40.0	129	3
7/1	69°34.2	32°40.9	174	6
7/2	69°33.9	32°41.14	235	19
8	69°31.6	32°28.0	86	6
9	69°28.9	32°47.9	65	10
10	69°34.8	32°17.3	75	10
11	69°36.9	32°17.04	197	10

11/1	69°36.24	32°15.14	192	16
11/2	69°36.3	32°17.15	197	10
12	69°37.39	32°08.37	120	6
12/1	69°37.79	32°08.71	160	7
12/2	69°37.59	32°08.53	174	10
12/3	69°37.47	32°08.18	184	12
12/4	69°37.45	32°08.96	191	21
12/5	69°37.29	32°08.84	205	10
13	69°37.52	32°00.3	50	5
14	69°33.3	32°35.5	212	10
14/1	69°33.3	32°34.7	213	10
14/2	69°33.3	32°34.2	214	12
14/3	69°33.4	32°35.5	219	13
14/4	69°33.35	32°34.15	216	23
15	69°36.44	32°25.72	115	7
16	69°43.6	32°08.5	20	7
17	69°33.6	32°03.4	62	19
18	69°29.56	32°30.79	84	17
19	69°29.68	32°32.99	39	6
20	69°28.32	32°28.44	106	27
21	69°28.63	32°28.76	102	7
22	69°28.4	32°30.4	96	14
23	69°28.8	32°29.7	99	10
24	69°28.98	32°31.56	101	10
25	69°24.2	32°48.9	106	21
26	69°27.06	32°56.6	60	7
27	69°27.7	32°54.83	57	8
28	69°23.96	33°00.7	91	11
29	69°22.23	32°58.42	76	8
30	69°22.76	32°55.46	56	5
31	69°26.29	33°04.35	114	9
32	69°27.05	33°07.9	75	6
33	69°24.05	33°14.05	49	5

**Результаты и обсуждение.** Северный борт залива до глубины 150 м представляет собой крутой подводный склон тектонического генезиса, продолжение южного берега п-ова Рыбачий. Примерно с глубины в 130–150 м происходит постепенное выполаживание склона, подножие которого расположено на глубине 170–200 м, где оно сочленяется с субгоризонтальной поверхностью дна залива (рис. 2).

Отложения северной части Мотовского залива представлены сероцветными каменистыми грунтами с грубым заполнителем, сформированными в результате физического выветривания осадочных пород, слагающих полуостров Рыбачий. Заполнитель (алевритовый, песчано-алевритовый и песчано-гравийный) средней плотности (объемный вес 1.50–1.70 г/см<sup>3</sup>, удельный – 2.01–2.36 г/см<sup>3</sup>), незначительной влажности (естественная влажность < 30 %), большой пористости (общая пористость >

40 %) и малой объемной усадки грунта (< 6 %). Гранулометрический состав заполнителя следующий: пелитовая фракция – до 15 %, алевритовая – 5–80 %, песчаная – 20–85 %, гравийная – до 25 %.

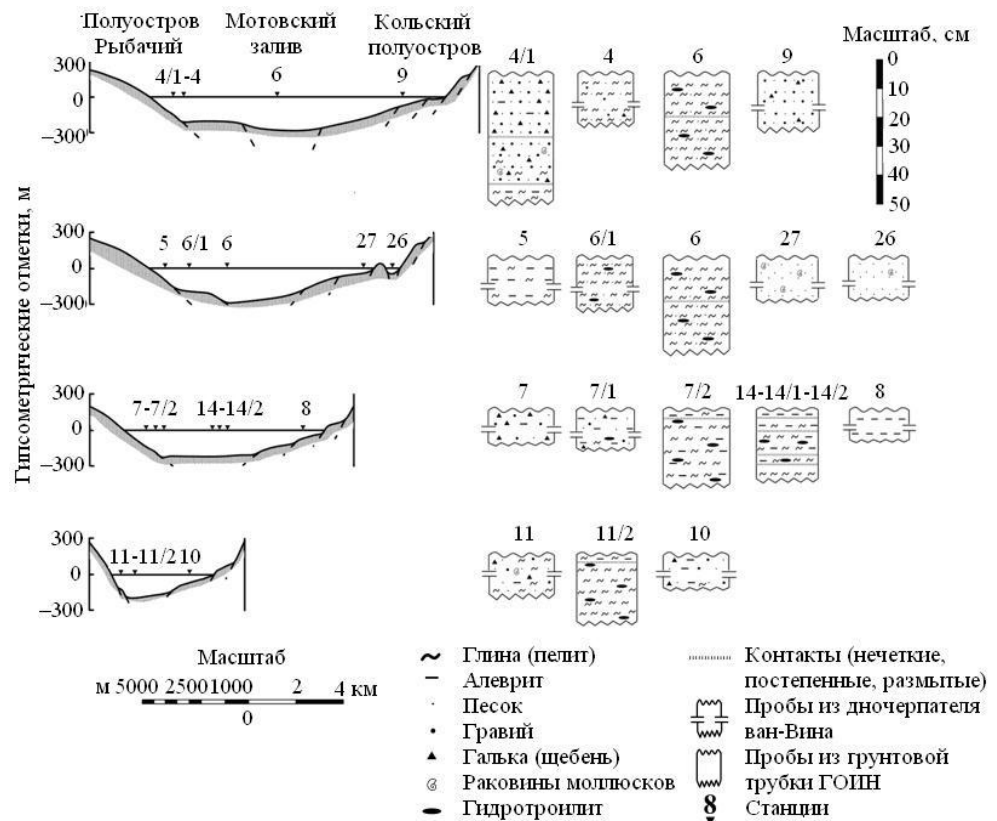


Рис. 2. Поперечные профили Мотовского залива и донных отложений  
Fig. 2. Cross-sections of the Motovskiy Bay and the bottom sediments

Характерный тип склоновых отложений представлен на станциях 4, 5, 7, 12/1, 12, 15. Это сероцветные каменистые галечно-щебнистые отложения, донно-каменный материал угловатый (0–1 класс окатаности), с алевритовым, песчано-алевритовым и песчано-гравийным заполнителем. На станции 4 (глубина моря 147 м) фиксируется горизонтальная слоистость отложений:

0–23 см – серые, зеленовато-серые отложения из гравия, гальки (щебня) осадочных пород, до 3 см в диаметре. Заполнитель гравийно-песчаная смесь. Нижний контакт четкий;

23–39 см – плотные зеленовато-серые гравийно-песчаные отложения с единичными остатками раковин моллюсков и галькой. Нижний контакт четкий;

39–45 см –слабовязкие серые глинисто-алевритовые отложения.

Интересные данные были получены на ст. 7, где в результате дрейфа судна были опробованы донные отложения с разных глубин:

129 м (ст. 7) – 0–3 см – серые галечно-щебнистые отложения с гравийно-алеврито-песчаным заполнителем;

174 м (ст. 7/1) – 0–6 см – темно-серые с зеленоватым отливом песчано-алевритовые отложения с гидротроилитом, угловатой галькой и щебнем (до 15 см в диаметре);

235 м (ст. 7/2) – 0–19 см – зеленоватые темно-серые, вязкие глинисто-алевритовые отложения с гидротроилитом.

Отчетливо прослеживается смена отложений на различных геоморфологических уровнях: склон–подножие склона–днище залива.

Аналогично рассмотрим южный борт залива. До глубины 100–120 м борт залива представляет собой крутой ступенчатый подводный склон, несколько более пологий, чем северный (рис. 2). Это продолжение северного берега Мурманского побережья, нарушенное крупными губами: Титовка, Западная Лица, Вичаны, Ара и Ура. На глубине 100–130 м происходит выполаживание склона и постепенный переход к днищу залива, подножие склона располагается на глубине 150–180 м.

Характерный тип склоновых отложений представлен на станциях 8 (86 м), 9 (65 м) и 10 (75 м). Это пестроцветные отложения песчано-гравийного, песчано-алевритового и алевритового состава. Отложения плотные (объемный вес 1.78–1.83 г/см<sup>3</sup>, удельный – 2.19–2.4 г/см<sup>3</sup>), небольшой влажности (естественная влажность < 25 %), пористости (общая пористость < 35 %) и малой объемной усадки (< 10 %). Содержание пелитовой фракции составляет 3–6 %, алевритовой – 25–40 %, песчаной – 30–55 %, гравийной – 3–25 %.

Главные отличия отложений южного борта залива от северного борта в повышенной плотности и более мелкозернистом составе.

Глубоководные отложения в осевой части Мотовского залива вскрыты на станциях 6, 11, 12 и 14 (рис. 3). Глубина осевой части залива ступенчато увеличивается с запада на восток и достигает 280–290 м на выходе из залива. Отложения представлены двумя основными разновидностями: глинами и алевритами. Глинистые отложения темно-серые с постоянным присутствием гидротроилита, неплотные (объемный вес < 1.40 г/см<sup>3</sup>, удельный – < 1.80 г/см<sup>3</sup>), большой влажности (естественная влажность > 45 %), пористости (общая пористость > 45 %) и объемной усадки (> 40 %). Содержание пелитовой фракции – 70–75 %, алевритовой – 17–22 %, мелкопесчаной – 4–7 %.

Алевритовые (глинисто-алевритовые, песчано-алевритовые) отложения более светлые (серые, светло-серые) и плотные (объемный вес 1.42–1.64 г/см<sup>3</sup>, удельный – 2.04–2.45 г/см<sup>3</sup>), небольшой влажности (естественная влажность 34–46 %), но большой пористости (общая пористость около 50 %). Объемная усадка алевритовых отложений колеблется от 11 до 48 % в зависимости от содержания песчаных и пелитовых фракций. Содержание пелитовой фракции – 6–15 %, алевритовой – 57–75 %, песчаной – 13–22 %, гравийной до 5 %.

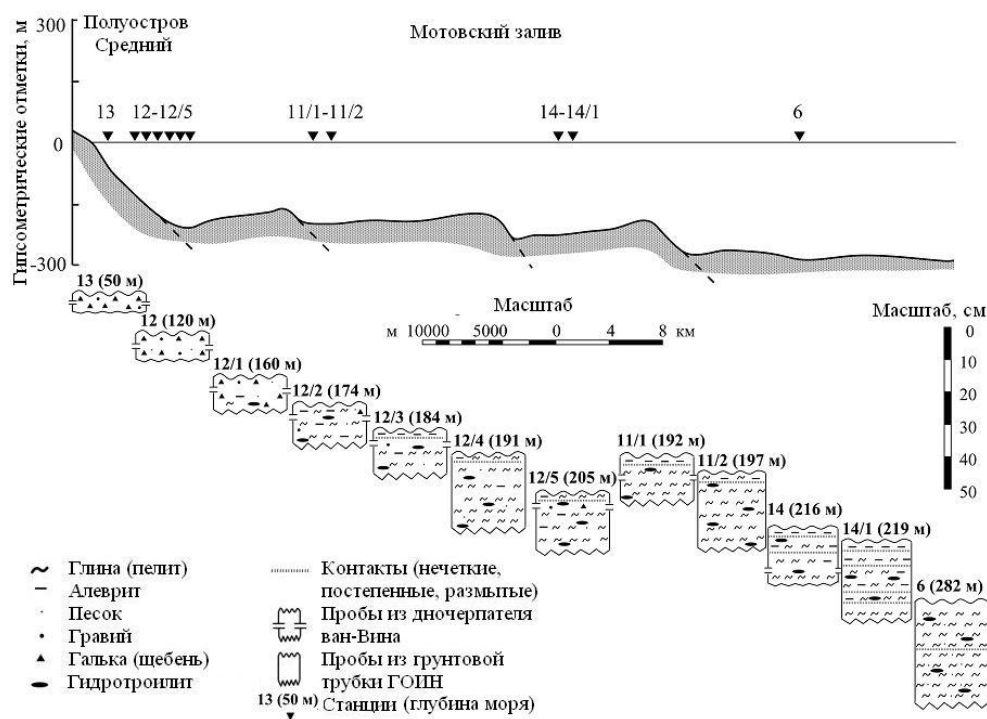


Рис. 3. Продольный профиль Мотовского залива и донных отложений  
 Fig. 3. Longitudinal profile of the Motovskiy Bay and the bottom sediments

В результате дрейфа судна на ст. 12 были опробованы донные отложения следующих глубин:

120 м (ст. 12) – 0–3 см – серые галечно-щебнистые отложения с гравийно-песчано-алевритовым заполнителем;

160 м (ст. 12/1) – 0–6 см – серые галечно-щебнистые отложения с песчано-алевритовым заполнителем. Щебень и крупная галька (до 15 см в диаметре) от угловатой до идеально окатанной, присутствуют пятна гидротроилита;

174 м (ст. 12/2) – 0–10 см – серые вязкие глинисто-алевритовые отложения с единичной галькой (до 3 см в диаметре) и гидротроилитом;

184 м (ст. 12/3) – 0–3 см – зеленовато-серые мягкие алеврито-глинистые отложения с единичным гравием. Нижний контакт постепенный. 3–12 см – темно-серые с зеленоватым отливом, не плотные алеврито-глинистые отложения с гидротроилитом;

191 м (ст. 12/4) – 0–3 см – зеленовато-серые мягкие глинистые отложения. Нижний контакт постепенный. 3–21 см – темно-серые с зеленоватым отливом вязкие, плотные глинистые отложения с гидротроилитом;

205 м (ст. 12/5) – 0–20 см – темно-серые с зеленоватым отливом вязкие, плотные глинистые отложения с единичной галькой (до 3 см в диаметре) и гидротроилитом.

Таким образом, на глубине более 170 м в Мотовском заливе формируются типичные глубоководные отложения глинистого и мелкоалеврито-глинистого состава.

В заключении необходимо отметить принципиальное отличие поверхностных донных отложений Мотовского залива от аналогичных отложений Кольского залива (Митяев, 1997). При всем своем сходстве в Мотовском заливе отсутствует верхний окисленный горизонт (коричневых, желтых и охристых оттенков), что, возможно, указывает на более высокие скорости седиментации в Мотовском заливе, большие чем скорость формирования окисленного горизонта. Высокие скорости седиментации в Мотовском заливе, вероятней всего, связаны с поступлением большого количества терригенного вещества при денудации осадочных пород п-овов Рыбачий и Средний, а также речной взвеси с Мурманского побережья. Твердый сток только четырех рек (Западная Лица, Титовка, Ура и Ара) составляет более 6 тыс. т взвешенного вещества в год (модуль твердого стока – 0.73–0.75 т/км<sup>2</sup> в год; Митяев, 2014).

Донные отложения губ Эйна, Большая Мотка, Кутовая вскрыты на станциях 13, 15 и 16. В целом это схожие серые галечные и гравийно-галечные отложения с песчаным и алеврито-песчаным заполнителем. Заполнитель плотный (объемный вес 1.70–1.90 г/см<sup>3</sup>, удельный – 2.21–2.56 г/см<sup>3</sup>), незначительной влажности (естественная влажность < 30 %), большой пористости (общая пористость примерно 50 %) и малой объемной усадки (< 7 %). Гранулометрический состав заполнителя следующий: фракция пелита – до 10 %, алеврита – 20–43 %, песка – 25–42 %, гравия 14–55 %.

Донные отложения губы Титовка вскрыты ст. 17 (рис. 1). Отложения представлены глинистым песком с гравием, галькой и гидротроилитом, средней плотности (объемный вес 1.52 г/см<sup>3</sup>, удельный – 1.94 г/см<sup>3</sup>), влажности (естественная влажность 44 %) и пористости (общая пористость 38 %). Объемная усадка примерно 24 %. Содержание фракций: пелит – 26 %, алеврит – 9 %, песок – 53 %, гравий – 4 %.

Донные отложения губы Западная Лица вскрыты на станциях 18–24 (рис. 1). Отмечена закономерная смена литологического состава отложений с глубиной. Так до глубины 50 м резко преобладают галечные, гравийно-галечные и смешенные галечно-гравийно-песчаные отложения, а на глубине 50–100 м распространены песчано-алевритовые, песчано-глинистые и песчаные отложения с галькой и гидротроилитом:

30 м (ст. 19) – 0–6 см – полимиктовые гравийно-галечные отложения с песчано-алевритовым заполнителем. Галька крупная (до 15 см в диаметре), хорошо окатанная;

84 м (ст. 18) – 0–2 см – коричневато-серые алеврито-песчаные отложения текучей консистенции. Нижний контакт нечеткий. 2–6 см – темно-серые с зеленоватым отливом плотные, слабовязкие глинисто-песчаные отложения. Нижний контакт четкий. 6–17 см – темно-серые плотные песчаные отложения с пятнами гидротроилита.

Глубже 100 м преобладают глинистые отложения с различным содержанием песчаных и алевритовых фракций, почти всегда присутствует единичная галька:

106 м (ст. 20) – 0–3 см – коричневато-серые алеврито-глинистые отложения текучей консистенции. Нижний контакт четкий; 3–16 см – зеленоватые темно-серые неплотные, вязкие, пластичные глинистые отложения с гидротроилитом. Нижний контакт постепенный; 16–30 см – светло-серые плотные, вязкие, пластичные глинистые отложения с единичными пятнами гидротроилита.

Со сменой литологического и гранулометрического состава отложений закономерно изменяются физические свойства. С увеличением содержания тонких фракций (пелита и мелкого алеврита) уменьшается плотность и пористость, увеличивается пластичность, влажность и усадка отложений. Содержание крупноалевритовой фракции (12–15 %) во всех типах отложений губы практически не меняется.

Донные отложения губы Ара вскрыты на станциях 25–27 (рис. 1). Станции 26, 27 расположены на глубине 50–60 м, донные отложения представлены плотными (объемный вес  $1.82 \text{ г/см}^3$ , удельный –  $2.23 \text{ г/см}^3$ , влажность  $< 25 \%$ ) песками с раковинами моллюсков. Содержание пелитовой фракции  $< 5 \%$ , алевритовой –  $15 \%$ , песчаной  $> 80 \%$ . На станции 25 (глубина моря 106 м) вскрыты песчано-глинистые отложения с гидротроилитом и галькой (до 10 см в диаметре, 2-й класс окатанности). Отложения мягкие слабо-пластичные (объемный вес  $1.33 \text{ г/см}^3$ , удельный –  $1.66 \text{ г/см}^3$ , влажность  $49 \%$ ). Содержание песчаной фракции  $32 \%$ , алевритовой –  $12 \%$ , пелита –  $> 55 \%$ .

Донные отложения губы Ура вскрыты на станциях 3, 28–33 (рис. 1). Закономерностей в распределении донных отложений в губе не прослеживается. Так на ст. 3 (глубина моря 90 м) донные отложения представлены серыми мягкими (объемный вес  $1.37 \text{ г/см}^3$ , удельный –  $2.07 \text{ г/см}^3$ ), непластичными, текучими (влажность  $51 \%$ ) мелкоалеврито-пелитовыми отложениями с раковинами моллюсков и гидротроилитом. Содержание пелитовой фракции  $62 \%$ , алевритовой –  $26 \%$ . На станции 28 (глубина моря 91 м) донные осадки представлены серыми песчаными и песчано-глинистыми отложениями с гравием, галькой, гидротроилитом и раковинами моллюсков:

0–3 см – серые песчаные отложения с галькой и раковинами моллюсков, текучей консистенции. Нижний контакт четкий;

3–7 см – зеленовато-серые глинисто-песчаные неплотные, слабопластичные отложения с гравием и гидротроилитом. Нижний контакт постепенный;

7–11 см – темно-серые плотные, вязкие песчано-глинистые отложения с большим количеством гидротроилита.

Вниз по разрезу содержание гравийной фракции уменьшается с 5 до 1 %, песчаных фракций – с 54 до 28 %, что влечет уменьшение влажности с 55 до 28 % и пористости отложений с 54 до 38 %. Увеличивается содержание пелитовой фракции с 23 до 66 % и плотности отложений с 1.44 до 1.64 г/см<sup>3</sup> (объемный вес) и с 1.83 до 2.36 г/см<sup>3</sup> (удельный вес).

Аналогичная смена песчаных (алеврито-песчаных) отложений на глинистые наблюдается на ст. 29 (глубина моря 76 м).

Так как станции 28 и 29 расположены в юго-западном борту о. Шалим в подножии берегового склона, то, возможно, это типичная слоистость отложений в данном районе.

На противоположном берегу губы Ура (станции 30, 31) и в северо-западном борту о. Шалим (ст. 32) донные отложения представлены плотными (объемный вес > 1.75 г/см<sup>3</sup>, удельный – > 2.20 г/см<sup>3</sup>) песками и песчано-гравийными смесями с галькой и раковинами моллюсков. При этом глубина моря меняется от 56 (ст. 30) до 114 м (ст. 31). Содержание пелитовой фракции не превышает 10 %. На ст. 33 (глубина моря 49 м) вскрыты отложения типичные для мелководных частей заливов – плотные серые пески с раковинами моллюсков.

Рассмотрим фракционную сортировку донных отложений залива. В целом отложения Мотовского залива плохо сортированы, средний коэффициент фракционной сортировки  $N_r$  равен  $0.53 \pm 0.03$ , что, вероятно, отражает прибрежные условия седиментогенеза. Наиболее полное разделение осадочного материала по крупности наблюдается у отложений, накапливающиеся в днище залива ( $N_r = 0.39 \pm 0.06$ ), особенно в глубоководной части на выходе из залива (ст. 6,  $N_r = 0.15$ ). Отсутствие сортировки отложений ( $N_r = 0.74 \pm 0.02$ ) фиксируются во всех губах залива (Эйна, Большая Мотка, Кутовая, Титовка, Западная Лица, Ара и Ура), но на отдельных станциях  $N_r$  уменьшается до 0.55, что свидетельствует о том, что разделение осадочного материала по крупности начинается до слияния губ с Мотовским заливом. В бортах Мотовского залива все отложения плохо сортированы, но в южном борту коэффициент  $N_r = 0.65 \pm 0.04$ , что больше чем в северном ( $N_r = 0.56 \pm 0.03$ ). Так как различия эти достоверны, то, возможно, это связано с отличиями в геологическом строении питающих провинций. В южный борт осадочный материал поступает в результате разрушения архейских гранитов и мигматит-гранитов, а в северный – палеозойских осадочных пород. Состав четвертичных (ледниковых, флювиогляциальных и морских) отложений на обоих берегах залива принципиально не отличается (Лаврова, 1960; Никонов, 1964; Митяев, 2014).



В северном борту Мотовского залива наблюдается постепенное улучшение сортировки отложений с запада на восток (к открытой акватории моря) – от 0.58 (станции 11, 12) на западе до 0.56 (ст. 7) в центральной части и до 0.53 (станции 6/1, 5 и 4) на востоке.

Различия в фракционной сортировке фиксируются и у литологических типов отложений. Так наиболее хорошо сортированы одномодальные пелитовые отложения (содержание пелита более 70 %,  $N_r = 0.38 \pm 0.09$ ), а не сортированы различные полимодальные отложения (галечно-гравийно-песчаные, гравийно-песчано-алевритовые, гравийно-песчано-глинистые,  $N_r = 0.75 \pm 0.02$ ). Одно-, двухмодальные отложения с преобладанием алевритовых фракций (содержание алеврита 55–75 %) располагаются на границе средне- и плохосортированных осадков ( $N_r = 0.51 \pm 0.07$ ). Аналогичные отложения, но с преобладанием песчаных фракций (содержание песка более 50 %) попадают в область плохосортированных отложений ( $N_r = 0.62 \pm 0.03$ ). В целом наблюдается закономерное уменьшение  $N_r$  при уменьшении диаметра частиц модальной фракции, что в прибрежных условиях, вероятней всего, отражает дальность переноса осадочного материала.

Рассмотрим вещественный состав отложений залива. В вещественном составе донных отложений (фракция более 63 мкм) можно выделить биогенный, техногенный, аэрозольный (космогенный) и минеральный материал.

Биогенный материал в донных отложениях очень разнообразен. Преобладают карбонатные раковины двустворчатых моллюсков и фораминифер. Достаточно много нитевидных и неправильной формы остатков морских водорослей и домиков полихет. Реже встречаются иглы морских ежей, остатки углефицированной наземной растительности. Значительно реже встречаются агглютинированные раковины фораминифер и домики полихет конусовидной и грушевидной формы. Много тонкого, неопределимого органического вещества.

Техногенный материал в донных отложениях представлен угловатыми обломками угля (черный с сильным металлическим блеском и раковистым изломом) с смоляно-черными и красно-коричневыми сферами сгорания и шлаком, легкие с матовым блеском и обилием полостей.

Аэрозольный (метеоритный) материал в донных отложениях представлен шаровидной формы черными частицами. Это тяжелые, прочные, с сильным металлическим блеском, изредка с побежалостью и магнитными свойствами сферы.

Минеральный материал в донных отложениях представлен обломками горных пород и минералов. Среди обломков горных пород резко преобладают граниты (крупнозернистые) и кварциты. Встречаются обломки жильного кварца и основных пород (черного или темно-серого цвета, скрытокристаллической структуры), изредка обломки гнейсов

(серого, темно-серого цвета, полосчатой текстуры) и амфиболитов (зеленовато-серого цвета, пятнистой текстуры), а также обломки осадочных пород алевролитов и песчаников (серого, желтовато-серого цвета, равномерно-зернистой структуры). Наиболее разнообразны обломки кварцитов. Это серые, зеленоватые и желтовато-зеленые породы мелкозернистой структуры и массивной текстуры с шелковистым, реже стекляннным блеском, часто с включениями хлорита и мусковита. Окатанность обломков горных пород изменяется от 0- до 4-го класса, но преобладают угловатые обломки до 1-го класса окатанности.

Среди минералов преобладает кварц, его содержание превышает 70 % кластического материала. Много белого (полупрозрачного и непрозрачного) и бесцветного (прозрачного) кварца со стекляннным и матовым блеском, раковистым изломом. Окатанность зерен изменяется от 0- до 4-го класса, с преобладанием угловатых обломков до 2-го класса. Изредка встречается горный хрусталь с хорошо выраженной формой кристаллов и раухтопаз. Очень много сростков кварца с другими минералами (слюда, калиевый полевой шпат, плагиоклаз, гранат, турмалин, оливин, черный рудный минерал, роговая обманка, кианит). Окатанность сростков не превышает 2-й класс. В сростках кварца и калиевого полевого шпата нередко наблюдается пертитовая структура.

Много слоистых алюмосиликатов. В основном это биотит и мусковит – белого, коричневого цвета (с различными оттенками) чешуйки, пластинки, листочки с сильным стекляннным, реже жирным блеском. Встречается хлорит зеленого цвета (от ярко- до грязно-зеленого цвета) в основном в сростках с другими минералами.

Много микроклина (красного цвета) и полевых шпатов с хорошо выраженной спаянностью и ступенчатым изломом, но чаще всего эти минералы встречаются в сростках с кварцем.

Среди акцессорных минералов встречаются:

роговая обманка (темно-зеленого и травянисто-зеленого цвета со стекляннным блеском);

рудные минералы (черные и свинцово-серые с сильным металлическим блеском и ступенчатым изломом);

турмалин (полупрозрачные минералы от бутылочно-зеленого до черного цвета столбчатой формы, со стекляннным блеском, изредка наблюдается плеохроизм от темно-зеленого до светло-зеленого);

гранат (красного, бледно-розового и розового цвета с сильным стекляннным блеском и с хорошо выраженной формой кристаллов);

бирюза (небесно-голубого цвета с матовым блеском и раковистым изломом);

кальцит (белый полупрозрачный с хорошо выраженной спаянностью и сильным стекляннным блеском);

кремни и халцедоны (различных оттенков коричневого и зеленого цвета, с раковистым изломом и жирным блеском).

В донных отложениях постоянно присутствуют лимонитовые стяжения разнообразной формы от ржавого до светло-коричневого цвета, а также пелитовые окатыши серого цвета.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014–2020 годы” (уникальный идентификатор проекта RFMEFI61616X0073) и по теме 9-18-03 в рамках государственного задания № 0228-2018-0016.

## Литература

*Геология СССР. Т. 27. Мурманская область. М.: Госгеолтехиздат, 1958. Ч. I. 714 с.*

*Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты / Коллектив авторов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. 265 с.*

*Козлов М. Т. Разрывная тектоника северо-восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1979. 140 с.*

*Лаврова М. А. Четвертичная геология Кольского полуострова. М.: Наука, 1960. 234 с.*

*Методы изучения осадочных пород. Т. 1. М.: Госгеолтехиздат, 1957. 612 с.*

*Митяев М. В. Геологическая среда и особенности ее строения // Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. С. 28–36.*

*Митяев М. В. Мурманское побережье (геолого-геоморфологические и климатические особенности, современные геологические процессы). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2014. 226 с.*

*Никонов А. А. Геоморфологические признаки позднечетвертичных движений земной коры на западе Кольского полуострова // Четвертичные отложения и грунтовые воды Кольского полуострова. М.; Л.: Наука, 1964. С. 35–45.*

*Петелин В. П. Гранулометрический анализ морских донных осадков. М.: Наука, 1967. 128 с.*

*Ранний докембрий северо-востока Балтийского щита: палеогеодинамика, строение и эволюция континентальной коры / М. В. Минц, В. Н. Глазнев, А. Н. Коников и др. М.: Научный мир, 1996. 277 с.*

*Романовский С. И. Физическая седиментология. Л.: Недра, 1988. 240 с.*

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2018-9-4-131-139

УДК 546.36 (268.45)

**Г. В. Ильин, И. С. Усягина, Д. А. Валуйская, Т. М. Максимовская**  
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

## **СОДЕРЖАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ИЗОТОПА $^{137}\text{Cs}$ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИЙ 2017 ГОДА**

### **Аннотация**

В 2017 году проведены радиоэкологические исследования водных масс в западной части Баренцева моря. Выполнены измерения объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  в слоях воды на разрезах мыс Нордкап–о. Медвежий и о. Медвежий–мыс Зюйдкап вдоль западной границы моря и вековом разрезе “Кольский меридиан” ( $33^{\circ}30'$  в. д.). Дан анализ широтного распределения концентраций  $^{137}\text{Cs}$  в водных массах на западной окраине моря, показаны современные особенности трансокеанического потока этого радионуклида из Северной Атлантики в Баренцево море. Основной объем цезия вместе с атлантическими водами поступает в море через границу Нордкап–Медвежий в верхних слоях воды. В центральных районах моря в атлантических водах происходит снижение концентрации радионуклидов под воздействием гидродинамически активных зон.

### **Ключевые слова:**

техногенный изотоп  $^{137}\text{Cs}$ , Баренцево море, трансокеанический перенос.

**G. V. Ilyin, I. S. Usyagina, D. A. Valuyskaya, T. M. Maksimovskaya**  
Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia

## **TECHNOGENIC ISOTOPE $^{137}\text{Cs}$ CONTENT IN THE WESTERN PART OF THE BARENTS SEA ACCORDING TO RESULTS OF EXPEDITIONS 2017**

### **Abstract**

Radioecological studies of seawater in the nondisclosure western part of the Barents Sea were conducted in 2017. Measurements of the  $^{137}\text{Cs}$  volumetric activity in water layers on the North Cape–Bear Island and Bear Island–South Cape section along a western sea border and a century transect “Kola Section” ( $33^{\circ}30'$  E). Latitudinal distribution analysis of  $^{137}\text{Cs}$  concentrations in water masses at the western edge of the sea is presented, and current features of its transoceanic flow from the North Atlantic to the Barents Sea are shown. The main flow of Cs together with the Atlantic waters enters the sea through the North Cape–Bear Island border in the upper water layers. Radionuclides concentration decreases under the influence of hydrodynamically active zones in the sea central regions.

### **Keywords:**

technogenic isotope  $^{137}\text{Cs}$ , Barents Sea, transoceanic.

**Введение.** Изучение радиоэкологического состояния арктических морей ассоциируется, в первую очередь, с исследованием Баренцева моря. Это море подвержено наиболее сильному влиянию вод атлантического происхождения по сравнению с другими и морями Северного Ледовитого океана. Поток вод

из Северной Атлантики и поступающие с ними загрязнения определяют высокий уровень техногенного, в том числе радиационного воздействия на экосистему Баренцева моря.

Главным фактором радиационного загрязнения североатлантических вод принято считать сбросы отходов западноевропейских радиохимических предприятий. В основном это сбросы в Ирландское море стоков заводов “Селлафилд” (Вакуловский и др., 1988). Максимальные объемы сброса имели место в 1974–1978 гг. Время переноса загрязненных вод к границам Баренцева моря оценивалось в 5–6 лет, на примере анализа концентраций  $^{137}\text{Cs}$  было показано, что в его бассейн поступало около 20 % сбрасываемых заводами в морскую среду радиоактивных отходов (Матишов, Матишов, 2001).

В 1990-х годах сбросы опасных загрязнителей североευропейскими предприятиями были во много раз снижены или прекращены. В морской среде это привело к интенсификации процессов естественного самоочищения. Однако и до настоящего времени поток атлантических вод остается основным фактором радиационного загрязнения Баренцева моря (Оценка ..., 2011; Ильин и др., 2015).

Несмотря на актуальность информации о поступлении в Баренцево море радионуклидов из сопредельных районов Северной Атлантики, прямых исследований загрязнения вод вдоль западных границ водоема очень мало, а в последнее десятилетие такие наблюдения не проводились (рис. 1).

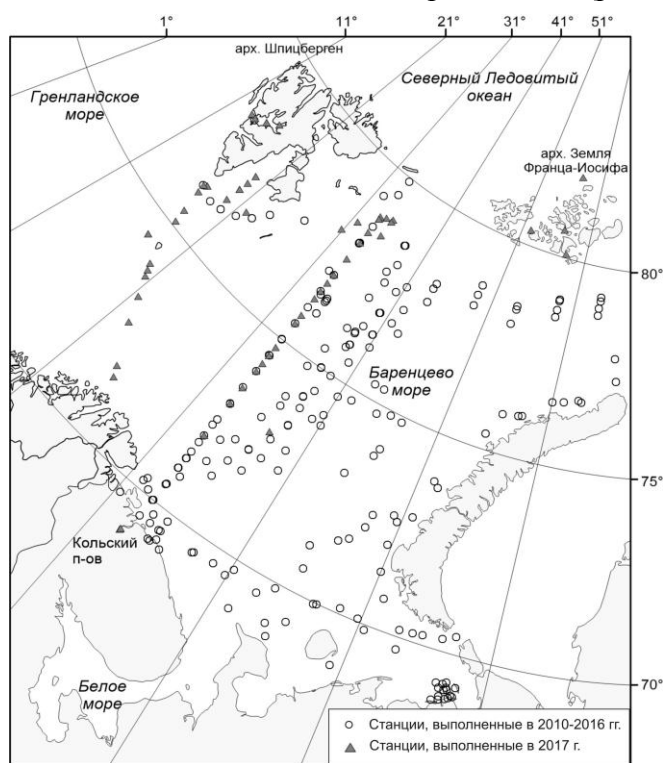


Рис. 1. Карта радиоэкологических наблюдений в 2010–2017 гг.  
Fig. 1. Location scheme of radio ecological stations in 2010–2017

В связи с этим Мурманским морским биологическим институтом КНЦ РАН были выполнены соответствующие исследования водной среды и донного осадка. Данная работа основана на материалах этих исследований, ее цель – изучить радиоактивное загрязнение вод западной части Баренцева моря, получить данные, характеризующие современное загрязнение атлантических вод и перенос радионуклидов в его бассейн через западную границу.

**Материал и методы.** Экспедиционные исследования выполнены на НИС “Дальние Зеленцы” в июле–августе и ноябре–декабре 2017 г. Работы проведены на разрезах вдоль западной границы Баренцева моря мыс Нордкап (Скандинавский полуостров)–о. Медвежий, о. Медвежий–мыс Зюйдкап (Шпицберген), а также на разрезе “Кольский меридиан” (33°30' в. д.). В ходе работ были изучены термохалинная характеристика вод и измерена объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в пробах воды. Материалы по разрезу “Кольский меридиан” дополнены данными соответствующих исследований 2015–2016 гг., когда всего было выполнено 55 станций, при этом в поверхностных слоях взято 55 проб воды, глубинных – 14, придонных – 15.

Сбор, обработку и анализ материалов осуществляли общепринятыми в международной практике методами. Радиологический анализ проб выполнен в лаборатории ММБИ. В пробах воды определена активность радиоизотопа  $^{137}\text{Cs}$ . Для концентрирования  $^{137}\text{Cs}$  из морской воды (объем пробы составлял не менее 100 л) использовали целлюлозный неорганический сорбент “Анфеж”.

Измерения активности радионуклидов в пробах сорбента и донного осадка выполнены на спектрометрах гамма-излучения InSpector-2000, гамма- и рентгеновского излучения b13237 (“Canberra”, США). Обработка и анализ спектров проведены с помощью программного обеспечения Genie-2000.

Измерения концентрации радионуклидов выполнены на различных горизонтах водной толщи. Полученные в разных, но взаимосвязанных течениях частях моря, данные хорошо дополняют друг друга и позволяют получить четкие представления о пространственных вариациях загрязнения водных масс атлантических течений.

Ранее радиоэкологические исследования выполнялись лишь в верхнем слое вод – 0–10 м.

**Результаты и обсуждение.** Эволюция радиационного состояния Баренцева моря прослеживается с конца 1950-х годов, с начала радиоэкологических исследований. Однако данные о радиоактивном загрязнении Баренцева моря в 1960-е годы ограничены. В литературных источниках приводятся в основном концентрации  $^{137}\text{Cs}$ , которые характеризуются большим разбросом величин. Разными авторами среднегодовая объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в этот период оценивалась от 5.5 до 25 Бк/м<sup>3</sup> (Экология ..., 2001; Bouldakov et al., 2002).

В 1970-е годы, несмотря на большие расхождения в оценке, отмечался постоянный рост концентрации радионуклидов в морской воде. Диапазон концентраций  $^{137}\text{Cs}$  в баренцевоморских водах неуклонно увеличивался от 5–7.5 Бк/м<sup>3</sup> (1970–1972 гг.) до 9–15 Бк/м<sup>3</sup> (1975–1978 гг.). В 1979 году содержание  $^{137}\text{Cs}$  возросло, так его диапазон соответствовал 25–43 Бк/м<sup>3</sup> (Pollution ..., 1997; Экология ..., 2001; Bouldakov et al., 2002). У западной границы с Норвежским морем (1979 г.) объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в воде составляла 33 Бк/м<sup>3</sup> (Никитин, 2009).

В 1980-е годы на основе более многочисленных и объективных данных оценки радиоактивного загрязнения уточнялись. Еще к середине десятилетия представления о загрязненности баренцевоморских вод характеризовались неопределенно, а точнее широким диапазоном концентраций  $^{137}\text{Cs}$  – 17–43 Бк/м<sup>3</sup>. В итоге к 1989 г. средняя оценка объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  была снижена до 12 Бк/м<sup>3</sup> (Pollution..., 1997; Экология..., 2001; Bouldakov et al., 2002).

Акватория Баренцева моря по линии разреза мыс Нордкап–о. Медвежий в 1981–1985 гг. была отмечена как район максимального загрязнения воды, при этом содержание радиоактивного цезия составляло 26–30 Бк/м<sup>3</sup>. Уже в 1989 г. его концентрация оценивалась в среднем как 6.4 Бк/м<sup>3</sup>.

Поверхностные воды прибрежного Норвежского течения у западной границы моря (район мыса Нордкап) в 1990-е годы содержали  $^{137}\text{Cs}$  3.7–5.0 Бк/м<sup>3</sup> (Техногенные ..., 2005; Anthropogenic ..., 1998).

В новом тысячелетии тенденция снижения концентраций  $^{137}\text{Cs}$  в баренцевоморской воде сохраняется вследствие сокращения поступлений радиоизотопов с атлантическими водами через западную границу моря. В 2000-х годах в атлантических водах вдоль разреза мыс Нордкап–о. Медвежий содержание радиоизотопа  $^{137}\text{Cs}$  снижалось с небольшими колебаниями до 2–3 Бк/м<sup>3</sup>, к концу первого десятилетия – до 1.2–2 Бк/м<sup>3</sup>. Но исследовался лишь верхний 10-метровый слой воды (Никитин, 2009; Оценка ..., 2011).

По имеющимся на этот период собственным и литературным данным была восстановлена многолетняя динамика изменения радиационной загрязненности вод Баренцева моря (Оценка ..., 2011). Расчеты показали, что снижение объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  в водах морского бассейна в целом подчиняется экспоненциальному закону и с высокой степенью достоверности ( $R^2 = 0.91$ ) описывается функцией  $y = 36.069e^{-0.097x}$ , где  $x$  – количество лет, прошедших после максимума загрязнения. Время, за которое происходит уменьшение концентраций  $^{137}\text{Cs}$  в 2 раза, для Баренцева моря составляет около 7 лет, что меньше физического периода полураспада рассматриваемого радионуклида. Это вполне объяснимое явление в динамичной морской среде, которое определяется гидрологическими процессами перераспределения радионуклидов, водообменом с прилегающими морями, геохимическими процессами в толще вод и на границе вода – донный осадок.

Но уже с 2010 г. стал очевиден недостаток информации о загрязнении вод в западной части моря и на его западной границе, через которую поступают техногенные радионуклиды с трансокеаническим потоком.

В связи с этим в 2017 г. были проведены экспедиционные исследования по двум разрезам, проходящим вдоль западной географической границы Баренцева моря и отделяющим его от Норвежского и Гренландского морей. Для получения более точной оценки загрязненности атлантических вод и выяснения закономерностей перераспределения перераспределения  $^{137}\text{Cs}$  в Баренцевом море было дополнительно исследовано загрязнение вод на вековом разрезе “Кольский меридиан” (рис. 1).

Послойное взятие проб позволило построить вертикальный разрез распределения  $^{137}\text{Cs}$ . Для объяснения полученных результатов были привлечены гидрологические данные. В частности разрез по солености наиболее адекватно характеризует типологию водных масс на западной границе моря (рис. 2).

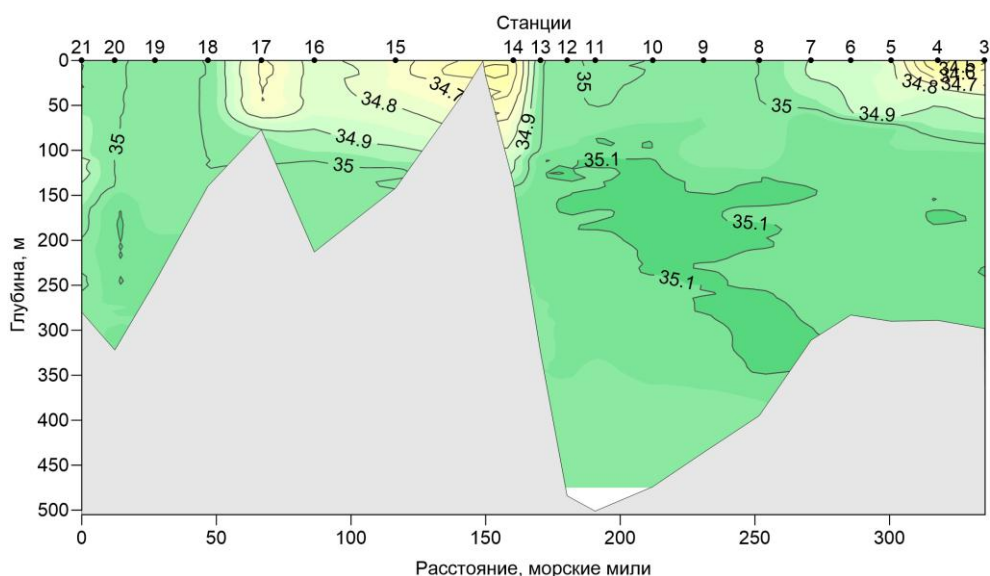


Рис. 2. Распределение солености (S, ‰) в вертикальном сечении водных масс по разрезам мыс Зюйдкап–о. Медвежий и о. Медвежий–мыс Нордкап 11–14 ноября 2017 г.

Fig. 2. The salinity profile (S, ‰) in the water of the section from Sørkapp to Vjørnøya and Nordkapp. November 11–14, 2017

Поток атлантических вод на границе моря разделен подводным Медвежинским поднятием и о. Медвежий на Нордкапское (станции 6–13) и Южно-Шпицбергенское (станции 18–21) течения, которые хорошо выделены в поле солености максимальными величинами последней (рис. 2). На южной периферии Нордкапского течения атлантические воды (Мурманское течение) в верхнем слое до 50 м перекрыты прибрежными



водами, и во фронтальной зоне их термохалинные свойства отчасти трансформированы смешением с прибрежным течением.

Атлантические воды по-прежнему характеризуются максимальной концентрацией радионуклидов. Однако ветви атлантического потока неодинаково насыщены радионуклидами, а распределение объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  неравномерно на вертикальном профиле атлантической водной массы (рис. 3).

Основной поток цезия вместе с атлантическими водами поступает в Баренцево море через границу Нордкап–Медвежий. Максимальная концентрация этого изотопа отмечается в верхних слоях потока атлантических вод во всех ветвях Нордкапского течения – Северной (станции 11–13), Центральной (станции 8–10) и Мурманской (станции 4–6). В ядре потока атлантических вод в слое 150–350 м концентрация цезия заметно ниже и еще больше снижается ко дну. Причины такой дифференциации, по-видимому, объясняются особенностями гидродинамики вод и сброса загрязнителей в Ирландское море. Стоки Селлафилда из Ирландского моря попадают в верхние слои высокосоленого океанического Северо-Атлантического течения и распространяются далее.

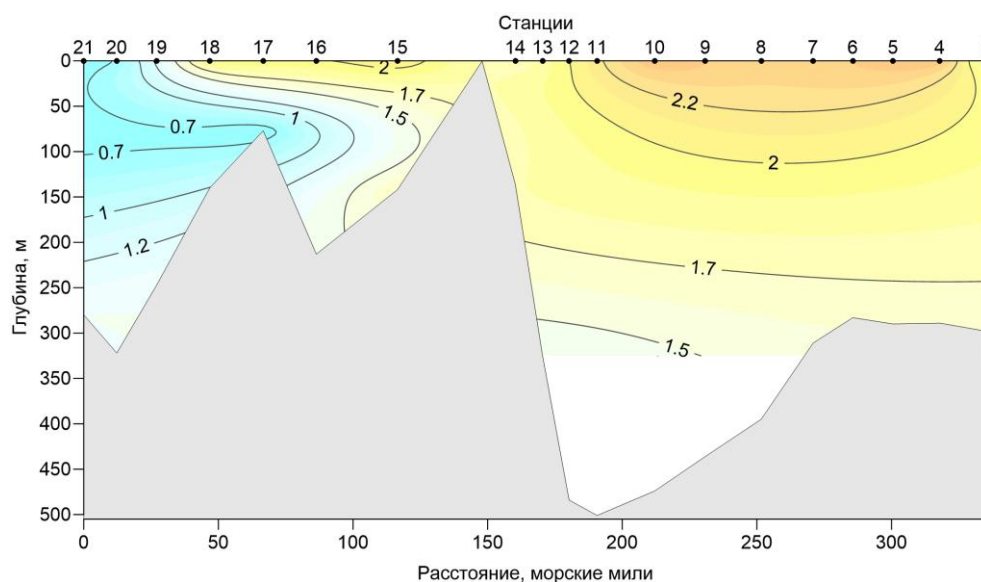


Рис. 3. Распределение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) в вертикальном сечении водных масс по разрезам мыс Зюйдкап–о. Медвежий и о. Медвежий–мыс Нордкап 11–14 ноября 2017 г.

Fig. 3. Distribution of  $^{137}\text{Cs}$  activity ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) in the water of the section from Sørkapp to Bjørnøya and Nordkapp. November 11–14, 2017

В смешанных водах холодного Медвежинского течения, омывающих о. Медвежий, концентрация цезия также убывает.

В водах петли Южно-Шпицбергенского теплого течения на разрезе (станции 18–20) обнаружена самая низкая объемная активность цезия.

Одной из причин такой дифференциации, по-видимому, может быть обособление Западно-Шпицбергенского течения от наиболее загрязненного Норвежского течения еще в районе Ирландского моря, где загрязнители попадают в поток атлантических вод (Северо-Атлантическое течение).

Второй причиной может быть флуктуация Южно-Шпицбергенского течения, ослабление его мощности, что заметно по снижению на 2 °С температуры воды по сравнению с Нордкапским течением. Устойчивость указанного явления не позволяет оценить недостаточное изучение западного переноса радионуклидов в прошлом.

Перераспределение поступающего через западную границу  $^{137}\text{Cs}$  в водных массах Баренцева моря начинается при разделении ветвей Нордкапского течения. В целом, четкие представления об этом процессе можно получить из анализа вертикального профиля термохалинных характеристик водных масс и объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  на разрезе “Кольский меридиан” (рис. 4). Детализированные представления о вертикальном профиле объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  на разрезе можно получить с привлечением к анализу данных радиологических исследований 2015–2016 гг. (рис. 5).

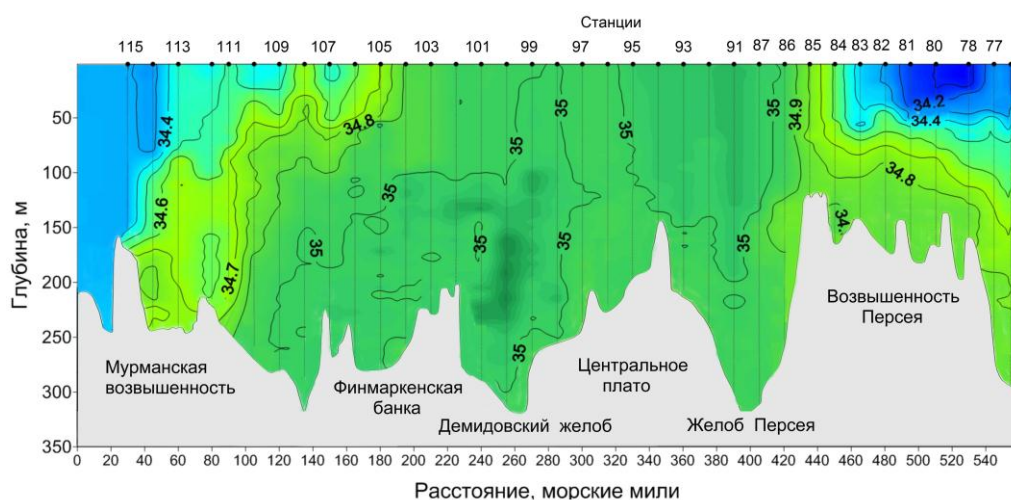


Рис. 4. Распределение солености ( $S$ , ‰) в вертикальном сечении водных масс вдоль разреза “Кольский меридиан” 11–14 ноября 2017 г.

Fig. 4. Salinity distribution ( $S$ , ‰) in the water of the section “Kola Meridian” (33°30' E). November 11–14, 2017

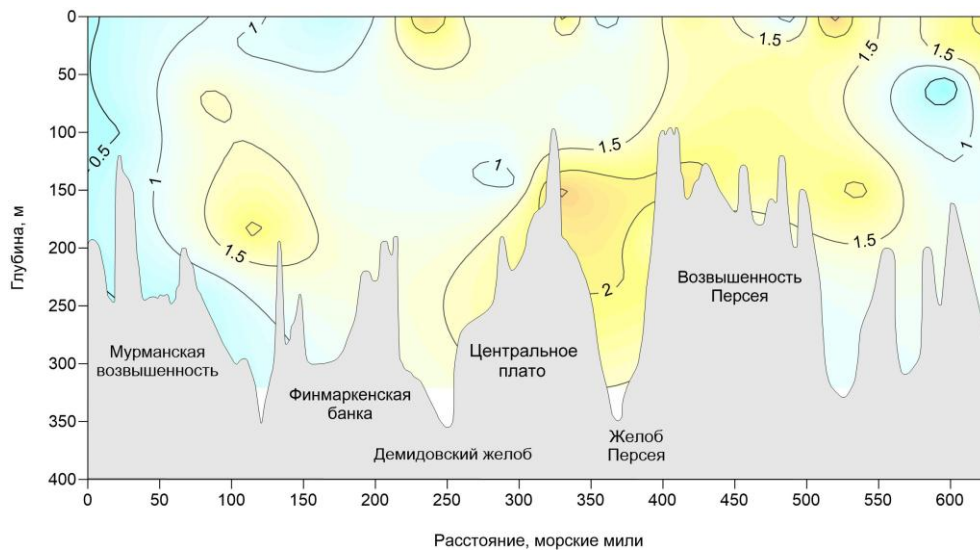


Рис. 5. Распределение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) в вертикальном сечении водных масс вдоль разреза “Кольский меридиан” 11–14 ноября 2017 г.

Fig. 5. Distribution of  $^{137}\text{Cs}$  activity ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) in the water of the section “Kola Meridian” ( $33^{\circ}30' \text{ E}$ ). November 11–14, 2017

На разрезе “Кольский меридиан”, ближе к центральной части моря, наблюдается размывание входящего потока цезия при смешении атлантических вод, циркулирующих в местных круговоротах в общем объеме баренцевоморской водной массы. Концентрация цезия заметно снижается –  $1\text{--}1.5 \text{ Bq}/\text{m}^3$ . Локальные участки повышенной концентрации регистрируются в верхнем слое атлантических вод Мурманской, Центральной и Северной ветвей Нордкапского течения. Однако более всего выделяются воды полярной фронтальной зоны в районе возвышенности Персея.

Прибрежные воды у берегов Мурманна обеднены радиоцезием.

Очаги повышенного содержания  $^{137}\text{Cs}$  образуются у дна в местах погружения верхних водных слоев при зимней конвекции и при фронтальном взаимодействии. Как правило, это глубоководные желоба, с ослабленной гидродинамикой в котловинах.

Таким образом, материалы, полученные в экспедиционных исследованиях 2017 г., позволили существенно дополнить многолетний ряд наблюдений за динамикой объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  в водах на западной границе Баренцева моря. Результаты исследования показали, что атлантические воды по-прежнему выделяются максимальным содержанием радионуклидов. Однако не все ветви атлантического потока равномерно и одинаково ими насыщены. Основной поток цезия вместе с атлантическими водами поступает в море через границу мыс Нордкап–о. Медвежий. Максимальная концентрация изотопа отмечается в верхних

слоях потока. С продвижением потока вод к центральной части моря концентрация радионуклидов в атлантических водах снижается за счет диссипации потока и перераспределения пассивных примесей в окружающих водах. С 2000 года изменения концентраций радионуклида носят автоколебательный характер.

Работа выполнена по теме 9-18-02 (133; 137) в рамках государственного задания № 0228-2018-0018.

## Литература

*Вакуловский С. М., Никитин А. И., Чумичев В. Б.* Загрязнение Белого моря радиоактивными отходами западноевропейских стран // Атомная энергия. 1988. Т. 65. Вып. 1. С. 66–67.

*Ильин Г. В., Усягина И. С., Касаткина Н. Е.* Геоэкологическое состояние среды морей российского сектора Арктики в условиях современных техногенных нагрузок // Вестн. Кольского науч. центра РАН. 2015. № 2. С. 82–93.

*Матишов Д. Г., Матишов Г. Г.* Радиационная экологическая океанология. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2001. 418 с.

*Никитин А. И.* Натурные исследования последствий сброса и захоронения радиоактивных отходов в моря Северного и Дальневосточного регионов Российской Федерации: Дис. ... докт. географ. наук. Обнинск: Институт проблем мониторинга окружающей среды, 2009 г. 204 с.

*Оценка потоков  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в Баренцевом море / Г. Г. Матишов, Д. Г. Матишов, И. С. Усягина и др. // Докл. РАН. 2011. Т. 439, № 6. С. 822–827.*

*Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. Радиоэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в арктические и дальневосточные моря (“Белая книга-2000”)* / Ю. В. Сивинцев, С. М. Вакуловский, А. П. Васильев и др. М.: Изд. АТ, 2005. 624 с.

*Экология промысловых видов рыб Баренцева моря.* Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2001. 221 с.

*Anthropogenic radioactivity in the Nordic Seas and the Arctic Ocean – Results of a Joint Project / H. Nies, I. H. Harms, C. Bahe et al. // German J. Hydrography. 1998. Vol. 50, № 4. P. 313–343.*

*Bouldakov V. V., Kryshev I. I., Rissanen K.* Dose estimation for the population due to consumption of foodstuff from the Barents Sea // Thesis the 5<sup>th</sup> international conference on Environmental radioactivity in the Arctic and Antarctic St. Peterburg, Russia 16–20 June 2002. St. Peterburg, 2002. P. 21–23.

*Pollution Issues: a state of the Arctic Environment Report AMAP.* Oslo, 1997. 120 p.

